

PIRTIN MUUNTOASEMAN SANEERAUSSUUNNITTELU

Mikko Eironen

Opinnäytetyö
Tekniikka ja liikenne
Sähkötekniikan koulutusohjelma
Insinööri (AMK)

KEMI 2015

Tekniikan ja liikenteen ala
Sähkö- ja automaatiotekniikka

Tekijä	Mikko Eironen	Vuosi	2015
Ohjaaja	DI, Jaakko Etto		
Toimeksiantaja	Ins. Erkki Näätsaari		
Työn nimi	Pirtin muuntoaseman saneeraussuunnittelu		
Sivu- ja liitemäärä	87 + 22		

Työ tehtiin Kemin Energia Oy:lle ja kohteena oli Kemin keskustassa sijaitsevan muuntoaseman laitteiden saneeraussuunnittelu. Aihe on ajankohtainen koska vuonna 1970 asennetut laitteet ovat elinkaarensa loppu päässä ja vaativat uusimista.

Opinnäytetyössä tarkasteltiin jakeluverkkojen teoriaa, niin yleisellä tasolla, kuin myös suunnittelun kannalta. Teoreettiseen tutkimukseen selvitettiin sähkönjakeluverkkojen laitteiden, kuten muuntajien, keskijännitekojeiston, kaapeleiden ominaisuuksia ja mitoittamista. Teoriaa on etsitty aiheeseen liittyvästä kirjallisuudesta ja internetlähteistä.

Työssä luodaan katsaus Kemin keskijänniteverkkoon, Pirtin muuntoaseman nykyisiin laitteisiin ja muuntoaseman syöttämään pienjänniteverkkoon. Tutkimisen lähteitä ovat aseman dokumentointi ja verkkotietojärjestelmästä löytyvät tiedot, joiden avulla selvitettiin aseman laitteistokokonaisuudet ja verkon kuormitukset.

Jakelumuuntajan mitoittamisessa arvioitiin sen kuormituksia tulevaisuudessa, minkä pohjalta laskettiin muuntajan teho, minkä jälkeen voitiin vertailla eri muuntaja tehojen taloudellisuutta toisiinsa. Keskijännitekojeiston ja pienjännitekeskuksen kestoisuudet selvitettiin laskemalla oikosulkuvirrat. Keskijännitekojeiston kenttävalinnat tehtiin vanhan kojeiston pohjalta ja näihin valittiin apukoejeet. Pienjännitekeskuksen komponenttivalinnat tehtiin vanhan keskuksen pohjalta ja Kemin Energian mitoitusperiaatteiden mukaan.

Työn tuloksena saatiin laadittua selvitys uusittavista laitteista ja tekninen dokumentointi, joita voidaan käyttää tarjouskyselyissä.

Industry and Natural resources
Electrical Engineering

Author	Mikko Eironen	Year	2015
Supervisor(s)	Jaakko Etto MSc (El.Eng) Erkki Näätsaari BEng.		
Commissioned by	Kemin Energia		
Subject of thesis	Renovation Planning of Secondary Substation Hardware		
Number of pages	87 + 22		

This thesis was commissioned by Kemin Energia Ltd. The goal of the thesis was to create an outline for the renovation of the hardware of a secondary substation, named Pirtti, which is located in the city center of Kemi. The subject is topical because in 1970 installed hardware is at the end of its life cycle and is in need of modernisation.

Thesis examines theory about electrical distribution networks at a general level as well as from the planning point of view. Theoretical research was done about the properties and dimensioning of electrical hardware related to distribution networks such as a distribution transformers, medium voltage switchgear and cables. Theory was searched from literature related to the field and the Internet.

An overview of the medium voltage network of Kemi and of Pirtti's secondary substation hardware and its associated low voltage network was made in this thesis. Resources for this overview were the documentation of the secondary substation and the information found from Kemin Energia's network information system. With the help of these resources, an overview of the substations hardware configurations and the loads of the distribution network were established.

In the dimensioning of the distribution transformer, estimations were made about the electrical loads of the transformer in the future. Calculations for the new distribution transformers nominal power were made from these estimations after which comparisons could be made between the different transformer sizes based on their cost effectiveness. The withstand currents of the structures of the medium and low voltage switchgear were determined by calculating short circuit currents. Modules of the new medium voltage switchgear were chosen based on the old switchgear, auxiliary devices for the modules were also chosen. Component choices for the low voltage switchgear were based on the old switchgear and Kemin Energia's dimensioning practises.

The results of the thesis were a report about the new hardware and technical documentation which can be used in future quotation inquiries.

Key words dimensioning, planning, electrical distribution

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	9
2	KEMIN ENERGIA OY	10
3	JAKELUVERKKO	11
3.1	Keski- ja pienjänniteverkot	12
3.2	Jakeluverkon maadoitukset	13
3.2.1	Keskijänniteverkon maadoitus	14
3.2.2	Pienjänniteverkon maadoitus	15
3.2.3	Laaja maadoitusjärjestelmä	16
4	JAKELUVERKON SUUNNITTELU	17
4.1	Suunnittelua ohjaavat parametrit	18
4.2	Rakenteet ja materiaalit	18
4.3	Tekniset reunaehdot	19
4.3.1	Jännitteenalenema	19
4.3.2	Terminen kestoisuus	20
4.4	Taloudelliset tekijät	20
4.4.1	Laskentakorko	22
4.4.2	Sähkön hinta	23
4.5	Häviöt ja niiden merkitys	25
4.6	Komponenttien pitoaika	27
4.7	Kuormitusten arviointi	28
4.7.1	Kuormitusten mallinnus	29
4.7.2	Kuormitusmallit tulevaisuudessa	29
5	JAKELUMUUNTAJA	31
5.1	Kolmivaihemuuntaja	31
5.2	Jakelumuuntajatyypit	32
5.3	Mittamuuntajat	33
5.4	Muuntajan oikosulkuimpedanssin määrittäminen	34
5.5	Jakelumuuntajan mitoittaminen	35
6	KESKIJÄNNITEKOJEISTOT	37
6.1	SF ₆ -eristeiset kojeistot	38
6.2	Kytkinlaitteet	40
6.2.1	Katkaisijat	40

6.2.2	Erottimet.....	40
6.3	Kojeistojen mitoittaminen.....	41
7	SÄHKÖKAAPELIT	42
7.1	Kaapelin mitoittaminen.....	42
7.2	Kaapelin kuormitettavuus.....	43
7.3	Kaapelin impedanssin määrittäminen	44
8	SÄHKÖJAKELUN VIKATILANTEET.....	45
8.1	Oikosulku	45
8.2	Oikosulkuvirtojen laskeminen	47
8.2.1	Kolmivaiheinen oikosulkuvirta	49
8.2.2	Kaksivaiheinen oikosulkuvirta	49
8.2.3	Yksivaiheinen oikosulkuvirta	50
8.3	Sysäysoikosulkuvirta.....	50
8.4	Terminen oikosulkuvirta	51
8.5	Maasulku	52
9	PIRTIN MUUNTOASEMA.....	54
9.1	Pirtin jakelumuuntajat.....	54
9.1.1	Muuntajien kuormitukset	55
9.1.2	Muuntajien häviöt	58
9.2	Pirtin keskijännitekojeisto.....	59
9.2.1	Kojeiston kennot ja erotinlaitteet.....	60
9.2.2	Kojeiston keskijännitekaapelit	61
9.3	Pirtin pienjännitekeskus	63
9.4	Pirtin asema-automaatio.....	64
10	UUDEN JAKELUMUUNTAJAN MITOITTAMINEN	66
10.1	Häviöiden kustannukset.....	67
10.2	Eri muuntajavaihtoehtojen vertailu.....	68
11	KESKIJÄNNITEKOJEISTON MITOITTAMINEN.....	70
11.1	Sähkötekniset ominaisuudet.....	70
11.2	Kojeiston oikosulkukestoisuus	70
11.2.1	Taustaverkon impedanssi	71
11.2.2	Päämuuntajien impedanssit	71
11.2.3	Keskijännitekaapelien impedanssit	72
11.2.4	Kokonaisimpedanssit	73

11.2.5	Oikosulkuvirrat	73
11.3	Kenttien määrittely	74
12	PIENJÄNNITEKESKUKSEN MITOITTAMINEN	76
12.1	Sähkötekniset ominaisuudet.....	76
12.2	Keskuksen oikosulkukestoisuus	77
12.2.1	Oikosulkuimpedanssin määrittäminen	77
12.2.2	Oikosulkuvirrat	78
12.3	Pienjännitekeskuksen komponentit	79
12.4	Keskuksen rakenne	82
13	POHDINTA	83
	LÄHTEET	85
	LIITTEET	87

ALKUSANAT

Haluan kiittää Erkki Näätsaarta ja Petri Gyldéniä Kemin Energialta opinnäyte-työn aiheesta ja Erkkiä työn ohjaamisesta. Kiitokset haluan myös esittää Jaakko Etolle saamastani opetuksesta ja ohjauksesta tässä työssä. Lopuksi kiitän perhettäni tukena olosta opiskelun aikana.

KÄYTETYT MERKIT JA LYHENTEET

SCADA	Supervisory Control And Data Acquisition
SF ₆	rikkiheksafluoridi
vtj	verkkotietojärjestelmä

1 JOHDANTO

Sähkö on yksi yhteiskuntamme tärkeimmistä kulutushyödykkeistä. Jotta yhteiskunta voisi hyötyä tästä, on sähkön siirtämistä ja jakelemista varten on rakennettu valtava verkosto generaattoreita, johtoja, kaapeleita, muuntajia, kojeistoja, keskuksia, pylviä jne. Kotitaloudet ja elinkeinoelämä ovat riippuvaisia tämän järjestelmän katkeamattomasta toiminnasta. Tämän vuoksi sähköjakelun osia tulee aika-ajoin uusia, jotta katkeamaton sähkön toimitus saadaan toteutettua yhteiskunnan tarpeisiin.

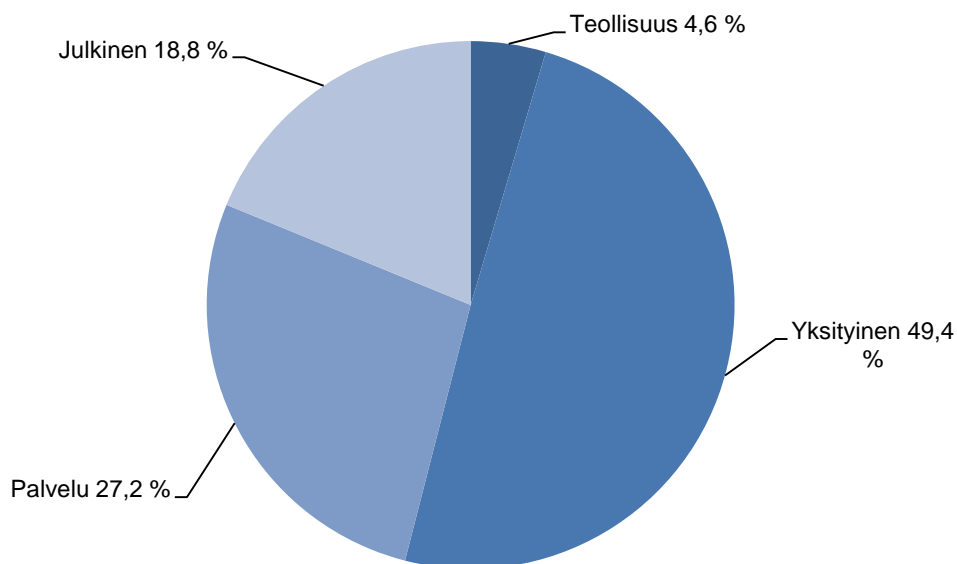
Tämä työ kohteena on yhden Kemin Energian sähkönjakeluverkon muuntoaseman laitteiden saneerauksen suunnittelu. Pirtin muuntoasema toimii keskijänniteverkon kytkinlaitoksena ja pienjännitejakelukeskuksena. Vuonna 1970 käyttöönotetut muuntajat, keskijännitekojeisto ja pienjännitekeskus lähestyvät käyttöikänsä loppupäätä ja vaativat uusimista lähitulevaisuudessa. Työn tavoitteena on määritellä uusittavien laitteiden ominaisuudet ja rakenteet sekä tuottaa tekninen dokumentointi, minkä pohjalta voidaan laatia tarjouspyyntö laitevalmistajille. Työssä tutkitaan myös jakeluverkon ja sen laitteiden mitoittamisen teoreettisia periaatteita.

Työssä luodaan yleinen katsaus Pirtin muuntoaseman laitteisiin sekä aseman kuormituksiin. Tietolähteenä on käytetty aseman dokumentointia ja verkkotietojärjestelmää. Opinnäytetyössä tarkastellaan myös asemalla vaikuttavia oikosulkuvirtoja kahdella eri jännitetasolla. Arvot toimivat laitteistojen ja kaapeleiden kestoisuuden mittareina ja suojauksen numeerisena lähteenä. Lisäksi mukaan otetaan hieman taloudellisia vaikutteita jakelumuuntajan mitoittamisessa.

2 KEMIN ENERGIA OY

Kemin Energia Oy on Kemin kaupungin omistama osakeyhtiö jonka juuret ulottuvat vuoteen 1912. Kemin Energia vastaa sähkö- ja kaukolämpöverkon rakentamisesta ja kunnossapidosta sekä kaukolämmön tuottamisesta. Kemi Energian toimipisteet sijaitsevat Kemissä Peurasaarella ja Karjalahdella. Yhtiön palveluksessa vuoden 2013 lopulla oli 55 henkilöä. (Kemin Energia vuosikertomus 2013, 12–16.)

Kemin sähköjakeluverkkoa syötetään kolmella päämuuntajalla, joiden yhteisteho on 75 MVA. Kaksi päämuuntajista sijaitsee Syväkankaan sähköasemalla ja yksi Karihaaran sähköasemalla. Jakelumuuntajia löytyy 212 kappaletta. Noiden yhteisteho on 92 260 kVA. Lisäksi johtoverkkoa on 827,5 kilometrin verran. Sen maakaapelointi aste on 76 %. Vuonna 2013 sähköä siirrettiin 166,8 GWh ja kulutushippu sijoittui joulukuun 9. päivälle. Kemin Energia siirsi sähköä 14 938 asiakkaalle vuoden 2013 lopussa. Häiriöistä aiheutunut sähköjakelun keskeytyminen oli keskimäärin 24 minuuttia asiakasta kohden vuonna 2013. Kuviossa 1 esitetään, kuinka paljon sähköä kukin asiakasryhmä käytti vuonna 2013. (Kemin Energia vuosikertomus 2013, 12–16.)



Kuvio 1. Sähkön käyttö asiakasryhmittäin (Kemin Energia vuosikertomus 2013, 12–16).

3 JAKELUVERKKO

Sähkönjakeluverkko koostuu alueverkoista, sähköasemista, keskijänniteverkosta, jakelumuuntamoista ja pienjänniteverkosta. Verkon tehtävänä on siirtää sähkö sen kuluttajalle sähkövoimansiirtoverkosta sekä jakeluverkossa olevien voimalaitosten tuottama sähkö. Suomessa sähkönjakeluverkossa on 800 sähköasemaa, 150 000 km keskijännitejohtoa, 100 000 jakelumuuntamoaa ja pienjännitejohtoa 200 000 km edestä. Koko verkon hankinta-arvo on arviolta noin 12 miljardia euroa. (Lakervi & Partanen 2008, 11.)

Alueverkot ovat 110 kV:n jännitteellä toimivia verkko. Jakeluverkon jännitetasot ovat pääosin 20 kV:ia ja 0,4 kV:ia. Näitä verkkoja omistavia yhtiöitä on likimäärin 90 kappaletta. Alue- ja jakeluverkkoyhtiöt vastaavat näiden verkkojen ylläpidosta ja kehittämisestä. Alueverkkoyhtiöt käyttävät vain 110 kV:n verkkoa, mutta jakeluverkkoyhtiöllä voi olla 10 kV:n, 20 kV:n ja 0,4 kV:n verkon lisäksi alueverkossa käytettyä 110 kV:n verkkoa. Poikkeuksena kanta- ja alueverkkoyhtiöihin verrattuna, jakeluverkkoyhtiöllä on verkkolupaani liittyvä maantieteellinen vastuualue ja tästä johtuva monopoli vastuualueellaan. Jakeluverkkoyhtiöllä on yksinoikeus rakentaa jakeluverkko tälle alueelle, mutta sen kuuluu myös suorittaa sille määritetyt velvollisuudet. (Elovaara & Haarla 2011a, 58–62.)

Verkon primäärikomponenteiksi katsotaan kuuluvaksi muuntajat, kojeistot ja kaapelit. Näitä komponentteja ovat tukemassa toisilaitteet ja -järjestelmät, joita ovat esimerkiksi suojareleet tai käytönvalvontajärjestelmät. Verkon primäärikomponenttien käyttöiät ovat pitkiä, yleensä 30 – 50 vuotta. Toisilaitteiden, erityisesti elektroniikkaa sisältävien laitteiden, pitoajat ovat 10 – 20 vuotta. (Lakervi & Partanen 2008, 11–13.)

Jakeluverkon tehonsiirtokyky voidaan rajata karkeasti eri jännitetasoille seuraavasti:

- 110 kV johdoilla voidaan siirtää kymmeniä megawatteja noin 100 km.
- 20 kV johdoilla siirtokyky on muutamia megawatteja 20–30 km.
- 0,4 kV johdoilla kyetään siirtämään satoja tai kymmeniä kilowatteja joitain satoja metrejä.

Suomessa on näistä poikkeavia tilanteita, joissa keskijännitteellä siirretään jopa 100 km matkalla ja pienjännitteellä muutamia kilometrejä. Näissä tilanteissa siirrettävät tehot ovat pieniä. (Lakervi & Partanen 2008 11–12.)

Suomessa jakeluverkon toimintaympäristöt vaihtelevat suuresti eri maanosissa. Verkon kuormitukset voivat kasvaa kehittyvissä taajamissa 3 – 5 % vuosivauhdilla. Tällä vauhdilla kuormitukset voivat kasvaa kymmenessä vuodessa 35 – 60 prosenttia ja verkon siirtokapasiteettia on lisättävä uusilla investoinneilla. Suurin osa Suomen jakeluverkoista sijaitsee alueilla, jossa verkon kuormituksen kasvu on pientä tai supistuvaa. Näissä oloissa tärkeitä asioita ovat verkon käytönvarmuuden ylläpitäminen ja parantaminen sekä käyttöikänsä loppupäässä olevien laitteiden korvaaminen uusilla. (Lakervi & Partanen 2008, 13.)

3.1 Keski- ja pienjänniteverkot

Keskijänniteverkon jännite on yleensä 20 kV mutta joissakin Suomen kaupungeista löytyy 10 kV:n verkkoa. Keskijänniteverkkoa syötetään sähköasemilta, joissa muunnetaan alueverkon 110 kV jännite 20 kV jakelujännitteeksi. Sähköasema on keskijänniteverkon tärkein yksittäinen osa. Sen sijainti määrittää keskijänniteverkon runkojohtojen pituudet ja mitoituksen. Sähköasemalla sijaitsee suurin osa keskijänniteverkon suojalaitteista ja sähköjakeluautomaatiosta. Sähköasema koostuu suurjännitekytkinlaitoksesta, päämuuntajasta, keskijännitekytkinlaitoksesta sekä näitä tukevista laitteista. (Lakervi & Partanen 2008, 119.)

Keskijänniteverkko rakennetaan silmukoiduksi mutta sitä käytetään säteittäisenä verkkona. Silmukat ovat avattuina jakorajoilla, joissa käytetään käsin ohjattavia tai kaukokäyttöisiä erottimia. Häiriöiden rajoittaminen ja suojauksien toteuttaminen on yksinkertaisempaa säteittäisessä verkossa kuin silmukoidussa. Silmukoidun verkon käytöllä saavutettaisiin pienemmät häviöt ja jänniteenalenema. Vaikka verkkoa käytetään säteittäisenä, silmukoidulla rakenteella parannetaan verkon käyttövarmuutta erilaisissa huolto- ja vikatilanteissa. Taajamissa keskijänniteverkko rakennetaan pääsääntöisesti maakaapelilla. Haja-asutusalueilla suositaan avojohtoverkkoa, koska siellä johtopituudet ovat suu-

rempia ja avojohtoverkon rakentaminen on halvempaa, mutta avojohtoverkot ovat haavoittuvaisempia kuin maakaapeliverkot, kuten viime vuosien myrskyt ja talvet ovat osoittaneet. Maakaapelointi pyritään toteuttamaan siten, että jakelumuuntamoille tulee ainakin kaksi keskijännitesyöttöä, koska keskijännitekaapeleiden korjaaminen on hidasta ja kallista verrattuna avojohtoihin. (Lakervi & Partanen 2008, 13.)

Pienjänniteverkon rakenteesta löytyy paljon yhtäläisyyksiä keskijänniteverkon kanssa. Pienjänniteverkon jännitetaso on 400 V ja verkkoa käytetään keskijänniteverkon tavoin säteittäisenä. Verkkoa syötetään jakelumuuntamolta, jossa keskijännite muunnetaan pienjännitteeksi. Jakelumuuntamo rakentuu keskijännitekojeistosta, yhdestä tai useammasta jakelumuuntajasta, pienjännitelähdöistä sekä mahdollisesta apujännite järjestelmästä. (Lakervi & Partanen 2008, 157–158.)

3.2 Jakeluverkon maadoitukset

Maadoituksella yhdistetään laitteen tai virtapiiriin osa maahan maadoituselektrodin avulla. Maadoitus voidaan jakaa kahteen eri kategoriaan, käyttö- ja suojamaadoituksiin. Käyttömaadoituksen tarkoituksena on pitää jännite sellaisena maan ja vaihejohtimen välillä, että se ei aiheuta vaaraa henkilölle tai omaisuudelle. Käyttömaadoituksen tehtävänä on myös pitää jännite-epäsymmetria ja maavirta niin pieninä, että niistä ei aiheudu häiriöitä heikkovirtajärjestelmiin. Käyttömaadoitus kytketään maahan joko suoraan tai pienen impedanssin kautta. Suojamaadoituksella yhdistetään virtapiiriin jännitteelle altis osa maahan. Tällä estetään vaarallisten kosketusjännitteiden syntyminen jännitteelle alttiisiin osiin. (Elovaara & Haarala 2011b, 427.)

Maadoitusjärjestelmässä viasta aiheutuva maasulkuvirta, aiheuttaa maadoitusresistanssissa maadoitusjännitteen, jota kutsutaan myös kosketusjännitteeksi. Maadoitusjännitteen suuruus riippuu maasulkuvirran ja maadoitusresistanssin suuruudesta. Kosketusjännite on ihmisen tai eläimen kosketeltavissa oleva jän-

nite, jonka suuruus määritellään eri asennuksille SFS 6001 standardissa jännitteenä U_{TP} . Kosketusjännite ei saa ylittää yhtälön 1 arvoja.

$$U_m \leq k \cdot U_{TP} \quad (1)$$

missä	U_m	maadoitusjännite
	U_{TP}	SFS 6001 standardin suurin sallima kosketusjännite
	k	asennuksen mukaan määräytyvä kerroin

Kosketusjännitteen suuruus on riippuvainen maasulun kestoajasta. Kertoimelle k annetaan arvo 2, 4 tai 5, riippuen maadoitusolosuhteista ja asennustavasta. Arvoa 2 voidaan käyttää, kun muuntamon ja pienjänniteverkon maadoitus on tehty standardin mukaan. Arvoja 4 ja 5 käytetään huonommissa maadoitusolosuhteissa mutta nämä asettavat ehtoja maadoituksen toteuttamiselle. (Lakervi & Partanen 2008 187–189.)

3.2.1 Keskijänniteverkon maadoitus

Keskijänniteverkkoa käytetään Suomessa joko maasta erotettuna tai sammutettuna verkkona. Maasta erotetussa verkossa muuntajan tai generaattorin tähtipistettä ei ole maadoitettu suoraan tai sammutuskuristimen kautta. Maasulkuvirta maasta erotetussa verkossa on hyvin pieni, jolloin verkon käyttöä voidaan jatkaa maasulussa. Ehtona vian aikaiselle käytölle on, että vikapaikassa ei saa syntyä hengelle ja omaisuudelle vaarallisia jännitteitä ja virtoja. Vian aikana terveiden vaiheiden jännite maata vasten kasvaa pääjännitteen suuruiseksi ja tähtipisteen jännite vaihejännitteen suuruiseksi. Jännitteiden nousu voi aiheuttaa muualla verkossa huonokuntoisen eristyksen pettämisen ja kaksoisvian syntymisen. (Elovaara & Haarala 2011a, 210.)

Verkkoja, joissa tähtipisteen ja maan väliin kytketään induktanssi, joka kumoaa kaapeleiden kapasitanssien kautta kulkevan maasulkuvirran, kutsutaan sammutetuiksi verkoiksi. Verkoissa on myös ominaista, että maasulku sammuu itsestään. Maasulussa kapasitiivisen ja induktiivisen virran vaihe-ero on noin 180 astetta. Jotta virrat kumoutuvat, täytyy virtojen reaktanssien olla yhtä suuret. Ongelmaksi sammutetuissa verkoissa muodostuu se, että vikapaikkaa määrit-

tää viassa vaikuttavan maakapasitanssin. Jotta vika voidaan kompensoida, täytyy induktanssia muuttaa myös. (Elovaara & Haarla 2011a, 210–211.)

3.2.2 Pienjänniteverkon maadoitus

Pienjänniteverkoissa käytetään suoraan maadoitettua verkkoa, missä tähtipiste on suoraan kytketty maahan. Suoraa maadoitusta käytetään ensisijaisesti suojaustoimenpiteenä, jolla pidetään kosketusjännite ja maadoitusvastus riittävän alhaisina. (Elovaara & Haarla 2011a, 211.)

Pienjänniteverkoissa käytetään yleisesti TN-järjestelmiä, joista on kolme eri versiota, TN-C, TN-S ja TN-C-S. Lisäksi on olemassa TT- ja IT-järjestelmät, joita käytetään enemmän teollisuuden sähköjakelussa. TN-järjestelmissä yksi piste on suoraan maadoitettu ja jännitteelle alttiit osat on yhdistetty suojamaadoitusjohtimella tai PEN-johtimella tähän pisteeseen. Nolla- ja suojamaadoitusjohtimen käyttö erottaa kolme TN-järjestelmää toisistaan:

- TN-C-järjestelmän nolla- ja suojamaadoitusjohtintoiminto on yhdessä johtimessa koko järjestelmässä.
- TN-S-järjestelmässä on erillinen nolla- ja suojamaadoitusjohdin kauttaaltaan.
- TN-C-S-järjestelmässä nolla- ja suojamaadoitusjohdin toiminto on yhdessä johtimessa vain osassa järjestelmää. (Sähkö- ja teleurakoitsijaliitto STUL ry 2007, 25–28.)

Pienjännitejakeluverkkojen maadoitusmuotona käytetään TN-C-järjestelmää mutta uudisrakennuksissa ja saneerauskohteissa suositellaan käyttämään TN-S järjestelmää. Kokonaisuudessaan pienjänniteverkko on TN-C-S-järjestelmä. (Sähkö- ja teleurakoitsijaliitto STUL ry 2007, 37.)

3.2.3 Laaja maadoitusjärjestelmä

Laajassa maadoitusjärjestelmässä toisiaan lähellä olevat maadoitusjärjestelmät liitetään verkkomaisesti yhteen, jolloin järjestelmä muodostaa lähes tasapotentiaalipinnan. Järjestelmän laajuus ja maadoitusverkon tiheys takaavat, että järjestelmän alueella ei synny vaarallisia kosketusjännitteitä. Sähköasemien, muuntamoiden, pienjänniteverkkojen ja liittymien maadoitukset muodostavat laajan maadoitusjärjestelmän. Järjestelmä voidaan muodostaa myös muuntopiirien verkoista, joiden kokonaismaadoitusimpedanssi täyttää ehdon $U_E \leq 2 \cdot U_{TP}$.

Maadoitusjärjestelmän yhdysjohtimina toimivat:

- suurjännitekaapeleiden vaipat ja keskusköydet
- pienjänniteverkon PEN-johtimet sekä maakaapeleissa, että ilmajohdoissa
- muuntamoita yhdistävät erilliset maadoitusjohtimet ja – elektrodit
- tarvittaessa muuntamoiden maadoituksia voidaan yhdistää keskijänniteilmajohdon pylväisiin rakennetuilla maadoitusjohtimilla (Verkostosuositukset RJ 19:06, 20–21.)

Laaja maadoitusjärjestelmä kannattaa aina muodostaa, kun siihen on mahdollisuus, koska sillä saavutetaan turvallisuus- ja taloudellisuusetuja. Laaja maadoitusjärjestelmä voidaan usein muodostaa kaupunkialueelle tiheään rakentamisen seurauksena. Järjestelmä ei muodostu rivimäiseen muuntamoketjuun, koska siitä puuttuu verkkomaisuus ja tiheys; esimerkiksi jokivarren asutuksessa ei muodostu laajaa maadoitusta. Uutta muuntopiiriä rakennettaessa on sille tehtävä maadoitukset asennusstandardien mukaan, sillä laajan maadoitusjärjestelmään liittyminen ei oikeuta poikkeuksiin muuntamon maadoituksissa. (Verkostosuositukset RJ 19:06, 21.)

4 JAKELUVERKON SUUNNITTELU

Sähkönjakeluverkon suunnittelun aikajänne on hyvin pitkä, pisimmillään useita kymmeniä vuosia. Suunnittelu koostuu useista eri suunnittelutehtävistä, jotka voidaan jaotella seuraavasti:

- Pitkän aikavälin kehittämissuunnittelu, missä määritellään miten verkkoa kehitetään, suunnitteluperiaatteet ja lähtötiedot. Nämä toimivat suuntaa antavina ohjeina tarkempaa verkostosuunnittelua tehtäessä.
- Verkoston kohdesuunnittelu, jossa määritellään tehtävä investointi ja sen ajankohta, esimerkiksi keskijännitejohdon mitoittaminen tai jakelumuuntamon suunnittelu.
- Maastosuunnittelussa sijoitetaan suunnitellut verkkorakenteet maastoon, esim. avojohdon reitin tarkkasuunnittelu.
- Rakennesuunnittelussa mitoitetaan uudet verkstorakenteet, esimerkiksi keskijännitekeskuksen, jakelumuuntajan ja pienjännitekeskuksen suunnittelu. Tästä saadaan komponenttien tilausta ja toimitusta varten tarvittava dokumentointi.
- Työsuunnittelussa päätetään investoinnin aikataulusta sekä toteuttamiseen tarvittavat henkilö- ja työvälineresurssit. (Lakervi & Partanen 2008, 63 – 64).

Näiden suunnittelutehtävien tarkoituksena on löytää ratkaisu, jonka kustannukset ovat sen elinkaaren aikana mahdollisimman pienet ja joka täyttää verkon tekniset vaatimukset. (Lakervi & Partanen 2008, 63–64.)

Jakeluverkon saneeraus on osa jakeluverkon pitempiaikaisempaa suunnittelu-aikajännettä. Saneeraus suoritetaan verkonosille laitteiden ja johtojen teknisen-taloudellisen pitoajan tullessa täyteen tai kulutuksen kasvaessa verkon rakenteiden kapasiteettia suuremmaksi. Saneerauksen tavoitteet noudattavat samoja periaatteita kuin yleinen jakeluverkon suunnittelu; löytää ratkaisu, jonka kustannukset ovat sen elinkaaren aikana mahdollisimman pienet ja joka täyttää tekniset reunaehdot. Saneerattava verkonosa voi olla esimerkiksi kaapelin vaihto, jakelumuuntamon uusiminen tai suurimpana sähköaseman uusiminen. Saneeraus suunnittelu koostuu lähinnä uusittavien verkstorakenteiden rakenne- ja

työsuunnittelusta ja ei eroa tehtävänä uuden verkon suunnittelusta. Helpottavana tekijänä suunnittelussa ovat vanhat verkon rakenteet, jotka auttavat kulutuksien arvioinnissa ja rakenteiden mitoittamisessa.

4.1 Suunnittelua ohjaavat parametrit

Jakeluverkon kehittämissuunnittelussa on määritelty periaatteet ja lähtötiedot jotka ohjaavat suunnittelutehtäviä. Tässä on lueteltu joitain niistä periaatteista ja parametreista, joilla on vaikutusta rakennesuunnitteluun ja jotka on syytä ottaa huomioon. Näitä ovat:

- rakenteet ja materiaalit
- tekniset reunaehdot: jännitteenalenema, vikavirtakestoisuudet
- taloudelliset tekijät: häviöiden hinnat, korko, pitoaika
- verkon kuormitusten ennustus. (Lakervi & Partanen 2008, 68–69.)

4.2 Rakenteet ja materiaalit

Verkkoyhtiöissä on määritelty yleensä verkossa käytettävät komponenttityypit ja -koot, määrittelyt koskevat enimmäkseen johdin poikkipintoja ja muuntaja kokoja. Verkkoyhtiölle on taloudellisempaa valita käyttöön vain muutama johdin poikkipinta-ala kuin käyttää kaikkia tarjolla olevia poikkipintoja. Muutaman poikkipinnan käyttö voi johtaa verkon ylityöittämiseen pienillä kuormilla mutta säästöä syntyy suunnittelu-, varastointi-, työ- ja häviökustannuksista. Verkkoyhtiö joutuu myös määrittelemään sopivat muuntajakoot sen verkkoon, huomioitavia asioita ovat kuormitettavuudet, varamuuntajien saatavuus ja maasulkuvirrat. (Lakervi & Partanen 2008, 73.)

4.3 Tekniset reunaehdot

Suunnittelussa teknisiä reunaehtoja ovat laitteiden ja johtimien terminen kestoisuus ja oikosulkukestoisuus, verkossa sallittavat jännitteenalenemat, käyttövarmuusvaatimukset, vikavirtasuojauksen toimivuus ja sähköturvallisuusmääräysten täyttyminen. Nämä reunaehdot toimivat niin rajoitteina kuin myös suunnittelua ohjaavina tekijöinä. (Lakervi & Partanen 2008, 74.)

4.3.1 Jännitteenalenema

Jännitteenalenema vaatimukset perustuvat SFS-EN 50160 standardin vaatimukseen tarpeeksi pienestä jännitteen vaihtelualueesta sähkökuluttajalla. Standardissa määritellään, että pienjännitteellä normaaleissa käyttöolosuhteissa jännitetaso ei saa ylittää $\pm 10\%$ nimellisjännitteestä ja keskijännitteellä $\pm 10\%$ sopimuksen mukaisesta jännitteestä. (SFS-EN 50160, 11, 16.)

Sähkökuluttajan jännite määräytyy sähköaseman ja jakeluverkossa tapahtuvan jännitteenaleneman erotuksena. Jännitteenaleneman suuruus riippuu jakelureitin johtopituudesta, mitoituksesta ja hetkellisistä kuormituksista. Suunnittelua helpottamaan on syytä jakaa koko verkon jännitteenalenema siten, että keskijännite-, jakelumuuntamo- ja pienjänniteosille asetetaan omat enimmäisarvonsa kuitenkin pitäen kokonaisjännitteenalenema standardin rajoissa. Rajat eivät kuitenkaan ole tiukkoja reunaehtoja, sillä yhden osan jännitteenaleneman ylittyminen ei välttämättä tarkoita sähkökuluttajalla liian suurta jännitteenalenemaa. (Lakervi & Partanen 2008, 74–76.)

Koko jakeluverkon siirtoreitin, sähköasemalta sähkökuluttajalle, jännitteenalenema koostuu keskijännitejohdon, jakelumuuntajan ja pienjännitejohdon jännitteenalenemien summasta. Johtojen jännitteenalenema voidaan laskea kaavalla 2 ja jakelumuuntajan jännitteenalenema kaavalla 3. (Lakervi & Partanen 2008, 38.)

$$U_h' = 100 \cdot \frac{P}{U^2} (R + X \tan \varphi) \quad (2)$$

missä	U_h'	jännitteenalenema (%)
	P	johdon kautta siirrettävä teho (W)
	R	johtimen resistanssi (Ω)
	X	johtimen reaktanssi (Ω)
	U	johdon alkupään pääjännite (V)
	φ	virran ja jännitteen välinen vaihekulma ($^\circ$)

$$U_h' = \frac{S}{S_n} \cdot (r_m \cos \varphi + x_m \sin \varphi) \quad (3)$$

missä	U_h'	jännitteenalenema (%)
	S	muuntajan kuormitus (kVA)
	S_n	muuntajan nimellisteho (kVA)
	r_m	muuntajan oikosulkuresistanssi (%)
	x_m	muuntajan oikosulkuresistanssi (%)
	φ	kuorman virran ja jännitteen välinen vaihekulma ($^\circ$)

4.3.2 Terminen kestoisuus

Laitteille ja kaapeleille on määritelty terminen kuormitettavuus, tämä ilmoitetaan yleensä suurimpana kuormitusvirtana jossain lämpötilassa. Kuormitettavuusarvoja on syytä noudattaa tarkasti, sillä näiden laiminlyöminen voi aiheuttaa tulipalonvaaraa, henkilövahinkoja sekä laitteiden ja komponenttien käyttöiän nopeaa lyhenemistä. Kaapeleita ja muuntajia voidaan kuitenkin hätätilanteissa ylikuormittaa, mutta tätä ei kuitenkaan tule käyttää hyödyksi näiden normaalitilan mitoittamisessa. (Lakervi & Partanen 2008, 77.)

4.4 Taloudelliset tekijät

Mahdollisimman edullisen ratkaisun löytämiseksi, täytyy selvittää verkkokomponenttien ja koko jakeluverkon pitoajalta keraantuvat kokonaiskustannukset. Kustannukset rakentuvat verkon ja sen komponenttien investointi-, häviö-, keskeytys- ja ylläpitokustannuksista; investointikustannukset ovat kertaluontoiset, muut

kustannukset ovat koko pitoajalta kertyviä jaksollisia kustannuksia. Eri kustannuksien luonnetta on esitelty taulukossa 1. (Lakervi & Partanen 2008, 40.)

Taulukko 1. Jakeluverkon kustannuksien luonne (Lakervi & Partanen 2008, 40).

	kiinteä	muuttuva	kerta	jaksollinen
Investointi	x		x	
Kuormitushäviöt		x		x
Tyhjäkäyntihäviöt	x			x
Keskeytyskustannukset		x		x
Ylläpito	x			x

Kustannuksien eriävästä luonteesta johtuen niitä ei voida verrata keskenään sellaisenaan. Yhden vuoden häviökustannus ei ole vertailukelpoinen investointikustannuksen kanssa. Vertailua voidaan suorittaa diskonttauksella tai annuiteetin avulla. Diskonttauksessa lasketaan koko pitoajalta syntyvien jaksollisten kustannusten nykyarvo. Annuiteetilla muutetaan investointikustannus pitoajalle jaksotetuiksi vuosittaiskustannuksiksi. (Lakervi & Partanen 2008, 40.)

Kustannuksen nykyarvo on riippuvainen pitoajan pituudesta ja koron suuruudesta, mitä suurempi korko ja pitempi pitoaika, sitä pienempi nykyarvo on. Laskemalla kustannukselle diskonttauskerroin, voidaan ensimmäisen vuoden kustannuserä kertoa tällä, jolloin saadaan koko pitoajalta syntyvät kustannukset nykyarvossa. (Lakervi & Partanen 2008, 40–41.)

Vuotuisen häviökustannuksen nykyarvo koko pitoajalta saadaan diskonttauskerroimen κ avulla. Kertoimella huomioidaan myös häviökustannusten neliöllinen riippuvuus kuormituksen suuruudesta. Diskonttauskerroin κ saadaan apukertoimen ψ avulla, kaavoilla 4 ja 5. (Simonen 2006, 14–15.)

$$\psi = \frac{\left(1 + \frac{r}{100}\right)^2}{1 + \frac{P}{100}} \quad (4)$$

$$\kappa = \psi \cdot \frac{\psi^T - 1}{\psi - 1} \quad (5)$$

missä	ψ	apukerroin
	r	kuormituksen vuotuinen kasvuprosentti
	P	laskentakorko
	T	pitoaika

Vuotuisen ylläpitokustannusten ja muuntajan tyhjäkäyntikustannusten nykyarvo laskettaessa ei tarvitse huomioida kuormituksen kasvua, jolloin käytetään diskonttauskerrointa κ_Y , joka saadaan kaavoista 6 ja 7. (Simonen 2006, 16.)

$$\psi = \frac{1}{1 + \frac{P}{100}} \quad (6)$$

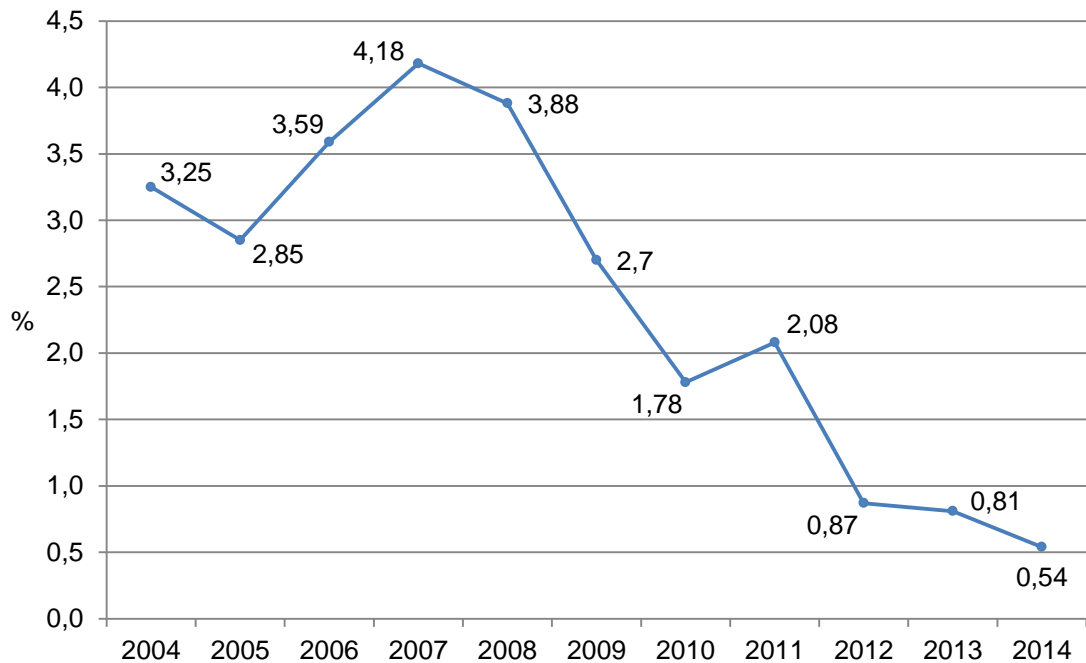
$$\kappa_Y = \psi \cdot \frac{\psi^T - 1}{\psi - 1} \quad (7)$$

4.4.1 Laskentakorko

Korolla kuvataan verkkoyhtiön investoinnin rahoituskuluja tai investoinnille halettavaa minimituottoa. Korolla kuvataan myös investoinnin riskiä: mitä suurempi riski, sitä suurempi korkotaso. Suurin osa verkkoyhtiöiden investoinneista kuitenkin ovat lähes riskittömiä. Talouslaskelmissa käytettävänä laskentakorkona käytetään yleensä valtion 5 tai 10 vuoden obligaatioiden tuottoa. (Lakervi & Partanen 2008, 83–84.)

Korkotasolla on suuri merkitys verkon eri kustannustekijöiden keskinäiseen suhteeseen ja investointien ajoitukseen. Alhaisen koron vallitessa on käyttökustannuksilla investointikustannuksia suurempi merkitys. Korkean koron aikana lähitulevaisuuden investoinneilla on korkeampi merkitys kuin käyttökustannuksilla. Korkotason ollessa suuri kannattaa suuria investointeja, kuten sähköasema,

siirtää tulevaisuuteen, aikaan, jolloin korkotaso on pieni. (Lakervi & Partanen 2008, 84.)



Kuvio 2. Valtion 5 vuoden obligaatioiden koron keskiarvo 10 vuoden ajalta (Suomen Pankin 2015).

Korkotaso elää markkinoiden ja talouden mukana, kuviossa 2 on trendiviiva Suomen valtion 5 vuoden obligaatioiden koron kehityksestä vuoden 2004 alun ja vuoden 2014 marraskuun välillä. Euroalueen ja Suomen heikosta markkina- ja taloustilanteesta johtuen korko on painunut todella alhaiseksi, eivätkä korot näytä kasvun merkkejä vuonna 2014. Näitä seikkoja silmälläpitäen sekä talouden epävarmuuden ja ennustettavuuden vaikeuden takia käytetään työn talouslaskelmissa laskentakorkona $p = 2,5 \%$.

4.4.2 Sähkön hinta

Verkkoyhtiö joutuu ostamaan muuntajista ja johdoista aiheutuvan häviöenergian sähkömarkkinoilta. Häviöenergia on verkkoyhtiölle katetta tuottamaton verkon lisäkuormitus. Kun tähän lisätään se, että verkkoyhtiö voi olla alueensa suurin

sähkönkäyttäjä häviösähkön muodossa, on sähkön markkinahinnan suuruudella huomattava vaikutus verkkoyhtiön talouteen. (Lakervi & Partanen 2008, 67.)

Sähkökauppaa käydään pohjoismaista ja Baltiasta koostuvassa Nord Pool Spot sähköpörssissä Norjassa, mistä verkkoyhtiö ostaa häviösähkonsä. Eniten kauppaa käydään Elspot-markkinoilla, missä määritellään seuraavan päivän sähkön hinta tunneittain kysynnän ja tarjonnan perusteella. (Nord Pool Spot 2015.)

Sähkön hintaa on vaikea ennustaa vuosia eteenpäin kun arvioidaan johtojen ja muuntajien elinkaaren aikaisia häviökustannuksia. Käytetään kustannusten arvioinnissa sähkön vuotuista keskiarvoa. Kuviossa 3 on Elspot-markkinoiden hintakehitys, joka on ollut 2010-luvulla laskusuhdanteista. Keskihinta asettui vuonna 2014 alimmilleen sitten 2012 vuoden jälkeen. Hintakehitystä on vaikea ennustaa, minkä vuoksi käytetään vuoden 2014 keskihintaa, eli $29,61 \text{ €/MWh}$ tai $0,02961 \text{ €/kWh}$.



Kuvio 3. Sähkön vuotuinen keskihinta Elspot-markkinoilla 2010-luvulla (Nord Pool Spot 2015).

4.5 Häviöt ja niiden merkitys

Muuntajissa ja sähköjohdoissa ilmenee käytön aikana häviöitä, joilla on suuri merkitys sähköjakelun taloudellisuuteen, sillä verkkoyhtiö joutuu ostamaan häviöenergian. Lisäksi lähes kaikki häviöihin menetetystä sähköenergiasta muuntuu lämpöenergiaksi, joka lämmittää johtojen ja muuntajien eristeitä ja nopeuttaa niiden vanhenemista. (Lakervi & Partanen 2008, 33.)

Häviöistä aiheutuvat kustannukset ovat huomattava osa jakeluverkon kokonaiskustannuksia. Muuntajien ja johtojen elinkaaren aikaiset häviöistä aiheutuvat kustannukset ovat kymmeniä prosentteja hankintakustannuksiin verrattuna. Kustannusten arvioinnissa käytetään häviöenergian keskimääräistä hintaa, joka on riippuvainen pitkän aikavälin sähköenergian markkinahinnasta. (Lakervi & Partanen 2008, 88.)

Jakelumuuntajan koko pitoajan häviökustannusten nykyarvo voidaan laskea kaavalla 8.

$$K_{h,m} = \kappa \cdot P_{k0} \cdot H_{hE} \cdot t_h + \kappa_Y \cdot P_{00} \cdot H_{hE} \cdot 8760 h \quad (8)$$

missä	κ	kuormitushäviöiden diskonttauskerroin
	κ_Y	tyhjäkäyntihäviöiden diskonttauskerroin
	P_{k0}	alkuhetken kuormitushäviöt (kW)
	P_{00}	alkuhetken tyhjäkäyntihäviöt (kW)
	H_{hE}	häviöenergian hinta (€/kWh)
	t_h	häviöiden huipunkäyttöaika (h)

Muuntajissa ilmenevät häviöt ovat kuormitushäviöitä ja tyhjäkäyntihäviötä. Muuntajan kuormitushäviöiden suuruus määräytyy muuntajan kuormituksen mukaan. Kuormitushäviöiden selvittämiseen tarvitaan muuntajan kilpiarvoissa annettua nimelliskuormitushäviöiden P_{kN} , jonka avulla muuntajan kuormituksen S aikana ilmenevä kuormitushäviö P_k saadaan yhtälöstä 9. (Lakervi & Partanen 2008, 34.)

$$P_k = \left(\frac{S}{S_N} \right)^2 \cdot P_{kN} \quad (9)$$

missä	P_k	muuntajan kuormitushäviöt muuntajan kuormituksella S (W)
	P_{kN}	muuntajan nimelliskuormitushäviöt (W)
	S	muuntajan kuormitus (VA)
	S_N	muuntajan nimellisteho (VA)

Muuntajan tyhjäkäyntihäviöt johtuvat muuntajan rautasydämessä magneettivuon vaihtelusta johtuvia pyörrevirta- ja hystereesihäviöitä. Tyhjäkäyntihäviöiden suuruus ei ole riippuvainen muuntajan kuormituksesta, mutta jännitteen taso vaikuttaa tyhjäkäyntihäviöiden suuruuteen. Jännitteen vaikutus tyhjäkäyntihäviöön P_0 voidaan laskea kaavalla 10. (Lakervi & Partanen 2008, 34.)

$$P_0 = \left(\frac{U}{U_N} \right)^2 \cdot P_{0N} \quad (10)$$

missä	P_0	muuntajan tyhjäkäyntihäviöt jännitteellä U (W)
	P_{0N}	muuntajan nimellistyhjäkäyntihäviöt (W)
	U	muuntajan napoihin vaikuttava jännite (V)
	U_N	muuntajan nimellisjännite (V)

Sähköjohdossa häviöt koostuvat pätö- ja loistehohäviöistä, jotka aiheuttavat kokonaisvirran neliöstä sekä johdon resistanssista ja reaktanssista. Pätötehohäviö P_h saadaan laskettua kaavalla 11 ja loistehohäviö Q_h kaavalla 12. (Lakervi & Partanen 2008, 34.)

$$P_h = 3 \cdot I^2 \cdot R \quad (11)$$

$$Q_h = 3 \cdot I^2 \cdot X \quad (12)$$

missä	I	kokonaisvirta (A)
	R	johdon resistanssi (Ω)
	X	johdon reaktanssi (Ω)

Ei riitä, että selvitetään vain muuntajien ja sähköjohtojen hetkellinen häviöteho, täytyy myös selvittää häviöistä johtuva energian kulutus, jotta saadaan häviöiden kustannukset selville. Häviöenergian määrä lasketaan vuositasolla, mikä

tarkoittaisi, että häviötehon suuruus tulisi selvittää vuoden jokaiselle hetkelle. Verkostolaskentaohjelmat voivat laskea energian tällä periaatteella. Käsien laske-
 kettaessa voidaan käyttää likiarvokaava 13, jossa vuotuinen häviöenergia sa-
 daan kertomalla huippuhäviöteho kuvitteellisella häviöiden huipunkäyttöajalla.
 Häviöiden huipunkäyttöajalla tarkoitetaan aikaa, jonka kuluessa vakiona pysy-
 vällä huippuhäviöteholla saavutetaan vuotuinen häviöenergia. (Lakervi & Parta-
 nen 2008, 35.)

$$W_h \approx P_{hmax} \cdot t_h \quad (13)$$

missä	W_h	vuotuinen häviöenergia (kWh)
	P_{hmax}	huippuhäviöteho (W)
	t_h	häviöiden huipunkäyttöaika

Häviöiden huipunkäyttöajan likiarvo voidaan laskea kaavalla 14, jossa tarvittava
 kuormituksen huipunkäyttöaika saadaan kaavasta 15.

$$t_k = \frac{W}{P_{max}} \quad (14)$$

missä	W	muuntajan vuosienergia (kWh)
	P_{max}	kuormituksen maksimiteho (kW)

$$t_h \approx 0,17 \cdot t_k + 0,83 \cdot \frac{t_k^2}{8760 h} \quad (15)$$

missä	t_k	kuormituksen huipunkäyttöaika
-------	-------	-------------------------------

4.6 Komponenttien pitoaika

Jakeluverkon komponenttien teknistaloudelliset pitoajat ovat pitkiä, kymmeniä
 vuosia. Komponenttien teknistaloudellisella pitoajalla tarkoitetaan keskimääräis-
 tä aikaa, jonka komponenttia saa olla käytössä. Komponenttien tekninen pitoai-
 ka on pitempi, kuin niiden teknistaloudellinen pitoaika. Toisin sanoen laitteita ei
 suositella käytettäväksi koko niiden teknistä kestoikää esimerkiksi ympäristön
 muuttumisen takia tai kuormitusten kasvamisen takia. Joidenkin komponenttien
 varaosien saatavuus perushuoltoa varten voi olla vaikeaa, joten ne joudutaan

korvaamaan uusilla ennen niiden teknistaloudellisen pitoajan loppumista. (Lakervi & Partanen 2008, 87.)

Primäärikomponenttien käyttöiät ovat tavallisesti useita kymmeniä vuosia, ja tänään asennetut laitteet voivat olla käytössä vielä jopa 50 vuoden päästäkin. Toisilaitteiden ja järjestelmien käyttöikä on 10 – 20 vuotta. Taulukossa 2 on esitetty jakeluverkon eri komponenttien pitoaikoja. (Lakervi & Partanen 2008, 13.)

Taulukko 2. Jakeluverkon komponenttien käyttöaikoja (Lakervi & Partanen, 2008, 88)

Komponentti	Pitoaika (a)
Muuntajat	30 – 40
20 kV:n johtoerottimet	25 – 30
20 kV:n maakaapeli	30 – 45
0,4 kV:n maakaapeli	30 – 45
Jakokaapit ja jonovarokeytkimet	30 – 40
Energiamittauslaitteet	15 – 25
Sähköasemat – 110/20 kV muuntajat	30 – 45
Sähköasemat – 110kV:n kentät	30 – 45
Sähköasemat – 20kV:n kojeistot	30 – 45

4.7 Kuormitusten arviointi

Verkon kuormitus on yksi eniten vaikuttava tekijä verkon suunnittelussa. Se on läheisesti yhteydessä komponenttien ja kaapeleiden mitoittamiseen. Kuormituksista arvioidaan niiden vuosienenergiaa ja sitä, kuinka suuret ne ovat verkon teknistaloudellisen käyttöiän lopussa. Tavoitteena on että laitteistoja ja kaapeleita ei tarvitse vaihtaa niiden elinkaaren aikana. Saneerattavat verkosto-osat saattavat sijaitsevat olosuhteissa, joissa kuormitukset pysyvät samana tai pienenevät. Kuormituksien arviointiin sisältyy kuitenkin paljon epävarmuutta, varsinkin kun yritetään arvioida, minkälaiset kuormitukset ovat kolmen tai neljän vuosikymmenen päästä. Pohjana arvioinnille toimivat olemassa olevat rakennukset ja

kuluttajien vuosienergiat. Näiden lisäksi kuormitusten arvioinnissa voidaan käyttää apuna tilastokeskuksen tai kaupunkien laatimia päätöksiä, ennusteita ja tutkimuksia väestörakenteesta, kaavoituksesta ja elinkeinoelämästä. (Lakervi & Partanen 2008, 90–91.)

4.7.1 Kuormitusten mallinnus

Pelkkä vuosienergioihin perustuva kuormitusten arviointi ei riitä, kun mitoite-taan jakeluverkon laitteita ja kaapeleita. Vuosienergian sijasta tarkemman mi-toittamisen mahdollistaa huipputeho tai tietyn hetken teho. Vuosienergian muut-taminen tehoksi voidaan tehdä usealla eri tavalla käyttäen tilastointimatemaatti-sia menetelmiä. Nykyisin kuormitusten mallintamiseen käytetään lähes yksin-omaan kuormitusmalleja, ennen paljon käytettyä Velanderin kaavaa voidaan käyttää suuren kuluttajajoukon huipputehon arvioimiseen. (Lakervi & Partanen 2008, 52–53.)

Kuormitusmallit on kehitetty mallintamaan yksittäisten sähkökuluttaja ryhmien määrällisesti ja ajallisesti vaihtuvaa kulutusta. Kuormitusmallit perustuvat Ener-giateollisuuden vuonna 1992 julkaisemaan kuormitustutkimukseen, jossa määri-teltiin 40 eri tyyppikäyttäjää sähkölle. Näillä tyyppikäyttäjillä on laskettu vuoden jokaista 2-viikkojaksoa vastaavat keskitehot ja näitä vastaavat 2-viikoindeksit sekä viikonpäivien tunti-indeksit eri vuodenajoille. Näitä tietoja käyttäen saa-daan selville jakeluverkon jokaisen kuluttajan teho. Tietojen laskeminen käsin on kuitenkin erittäin työläs tehtävä, minkä vuoksi laskeminen suoritetaan nykyi-sin verkkotietojärjestelmällä. (Lakervi & Partanen 2008, 54.)

4.7.2 Kuormitusmallit tulevaisuudessa

Tulevaisuudessa kuormitusmalleilla ei välttämättä kyetä ennustamaan riittävän tarkasti sähkönkäyttäjien kulutuksia. VTT:n vuonna 2010 julkaisemassa tutki-musraportissa selvitettiin, kuinka kuormitusmallit soveltuvat tulevaisuuden säh-könkäytön ennustamiseen. Hajautettu tuotanto, muun muassa tullivoiman ja

aurinkokennojen lisääntyminen, muuttaa jakeluverkkoja kaksisuuntaisiksi verkoiksi, missä kuluttaja ei enää vain kuluta sähköä, mutta saattaa myös syöttää sähköä verkkoon. Tämä vaatii sähköverkoilta joustoa, mikä taas vaatii kuormitusmalleja, jotka ottavat nämä tuotantomuodot huomioon. Uusien sähkökäyttöjen, kuten lämpöpumppujen ja sähköautojen, lisääntyminen lisäävät mallinnusvirheitä, kun käytetään nykyisiä malleja, tai niillä ei edes voida ennustaa kuluksia. Esimerkiksi lämpöpumput alentavat sähkönkulutusta sähkölämmitteisissä taloissa ja lisäävät öljylämmitteisissä, mitä nykyiset mallit eivät ota huomioon, ja tästä voi aiheutua jopa kymmenien prosenttien mallinnusvirhe. Sähköautot eivät ole vielä saavuttaneet suurta suosiota, mutta vuonna 2030 oletetaan, että 20 – 50 % ajoneuvoista on sähköautoja. Sähköautojen latausta ei voida mitenkään mallintaa nykyisien kuormitusmallien avulla vähentäen näiden käytävyyttä tulevaisuudessa. (Koreneff 2010, 6–9.)

Raportissa pääteltiin, että nykyiset kuormitusmallit eivät vastaa tulevaisuuden tarpeita ja ne tarvitsevat päivityksiä. Indeksipohjaisten kuormitusmallien rinnalle tarvitaan dynaamisiin käyriin kykeneviä simulointi ja ennustusalgoritmeja, joilla voidaan huomioida verkon kuormituksien ja tuotannon muuttuminen. Vaikka nämä asiat eivät vielä vaikuta suuresti sähköverkkojen suunnitteluun, on kuitenkin hyvä tiedostaa, miten asiat voivat muuttua tulevaisuudessa. (Koreneff 2010, 37.)

5 JAKELUMUUNTAJA

Muuntajaa käytetään sähköjakelussa ja -siirrossa muuntamaan jännitteitä ja virtoja sähkömagneettisen induktion avulla. Rakenteeltaan muuntajat ovat yksinkertaisia, koska niissä ei ole liikkuvia osia. Muuntajan aktiivisten osien koostuessa käämityksistä ja rautasydämeestä käämitykset valmistetaan joko kuparista tai alumiinista ja rautasydän valmistetaan kidesuunnatusta sydänlevyistä. Muuntajia rakennetaan yksi ja kolmivaiheisina. Sähköjakelussa käytetään kolmivaiheisia muuntajia. Muuntaja voidaan käyttää muuallakin kuin sähköjakelussa, esimerkiksi sähköverkon mittaukset ovat toinen sovellus muuntajille. (Aura & Tonteri 1996, 267.)

5.1 Kolmivaihemuuntaja

Kolmivaihemuuntajilla suoritetaan kolmivaihejärjestelmän jännitteen muunto. Kolmivaiheisten muuntajien rautasydän rakennetaan erityisestä teräslevystä, joka on valmistettu siten, että rautasydämeestä aiheutuu häviöt olisivat mahdollisimman pienet. Muuntajan käämitykset koostuvat ylä- ja alajännitekäämityksistä, jotka on rakennettu erityisestä käämilangasta, jonka materiaali on joko kuparia tai alumiinia. Jokaisen vaiheen käämitys rakennetaan rautasydämen ympärille päällekkäin. Alajännitekäämitys kootaan rautasydämen ympärille ja yläjännitekäämitys kootaan alajännitekäämityksen päälle. Käämitykset ja rautasydän eristetään toisistaan erityisillä eristyslierioilla. (Aura & Tonteri 1996, 280–281.)

Kolmivaihemuuntajan käämit voidaan kytkeä kolmella eri tavalla:

- Tähti- ja kolmiokytkentä, jota käytetään yleisesti kaikissa muuntajissa ala- ja yläjännitekäämityksissä.
- Hakatähtikytkentä on vähemmän käytetty kytkentä, jota käytetään vain jakelumuuntajien alajännitekäämityksissä. Kytkeä ei vääristä muuntajan jännitteitä epäsymmetrisiksi, jos kuorma on epäsymmetrinen.

Kytkennot esitetään yleensä isoin tai pienin kirjaimin, tähti (Y, y), kolmio (D, d) ja haka (Z). Isolla kirjaimella tarkoitetaan yläjännitekäämityksen kytkentää ja pienellä alajännitekäämityksen kytkentää. Kirjaimilla N ja n kerrotaan, jos ylä- tai

alajännitekäämityksen tähtipiste on tuotu muuntajan kannelle. Kirjaimien lisäksi liitetään vielä numero 1 ja 12 väliltä. Numero kertoo, kuinka monta astetta alajännitteen yhden vaiheen jännite on jäljessä saman vaiheen yläjännitteeseen nähden. Jokainen numero on 30°, eli 1 on 30°, 2 on 60° jne. Kokonaisuudessaan kytkentä ilmoitetaan siten, että ensin ilmoitetaan yläjännitekäämin kytkentä ja sen jälkeen alajännitekäämin kytkentä. Kytkeä voi näyttää esimerkiksi tältä: Dyn6. Tässä on muuntajan yläjännitekäämitys kytketty kolmioon ja alajännitekäämitys tähteen sekä muuntajan kannelle on tuotu alajännitepuolen tähtipiste. Lisäksi alajännitekäämityksen vaiheet ovat 180° jäljessä yläjännitepuolta. (Elovaara & Haarla 2011b, 142.)

5.2 Jakelumuuntajatyypit

Jakelumuuntajat voidaan jakaa neljään eri ryhmään niiden rakenteen mukaan: paisuntasäiliöiset jakelumuuntajat, hermeettisesti suljetut jakelumuuntajat, pylväsmuuntajat ja valuhartsieristeiset jakelumuuntajat. Jakelumuuntajiksi katsotaan muuntajat, joiden teho on pienempi kuin 3150 kVA. Kaikissa muissa paitsi valuhartsieristeisissä jakelumuuntajissa eristys- ja jäähdytysaineena käytetään muuntajaöljyä. Öljyllä jäähdytetyt muuntajat ovat itsejäähdytteisiä muuntajia. Muuntajassa syntyy öljyn virtaus, kun muuntajan häviöt lämmittävät öljyä, jolloin lämmin öljy nousee säiliön keskellä ylös ja laskee säiliön reunoilla alas jäähtyessään. (Aura & Tonteri 1996, 283, 286.)

Yleisin jakelumuuntaja tyyppi on paisuntasäiliöllä varustettu öljyeristeisten muuntaja. Öljyeristeisten muuntajien öljyn tilavuus vaihtelee lämpötilan muutoksen takia. Tästä johtuen muuntaja imee ilmaa sisään ja puhalttaa sitä ulos, josta seuraa kosteuden lisääntyminen öljyssä ja kunnon alentuminen. Paisuntasäiliöllä voidaan vähentää kosteuden imeytymistä öljyyn, koska öljyn ja ilman kosketuspinta paisuntasäiliössä on pienempi ja öljyn lämpötila alhaisempi. Syntynyt kosteus kerääntyy säiliön pohjalle, mistä se voidaan poistaa. (Aura & Tonteri 1996, 285, 288.)

Hermeettisissä jakelumuuntajissa ei ole paisuntasäiliötä. Muuntajat on täytetty öljyllä, ja ne ovat kaasutiiviisti suljettuja. Muuntajan säiliö on mitoitettu kestämään käytön aikaiset tilavuuden muutokset sekä kestämään ylikuormituksesta aiheutuva ylipaine. Hermeettisissä muuntajissa öljy vanhenee hitaammin kuin paisuntasäiliöllä varustetuissa muuntajissa. (Aura & Tonteri 1996, 285).

Valuhartsiset jakelumuuntajat tai kuivamuuntajat on tarkoitettu käytettäväksi paikoissa, joissa palovaaran, saastumisvaaran tai muun syyn takia öljytäytteisten muuntajien käyttö on kiellettyä tai vaatii kalliita erityistoimia. Valuhartsimuuntajien käyttökohteita ovat esimerkiksi kerrostalot, sairaalat, tavaratalot, maanalaiset rautatiet ja kaivokset. (Aura & Tonteri 1996, 288.)

5.3 Mittamuuntajat

Mittamuuntajia käytetään sähköjakelussa virran tai jännitteen mittaamiseen. Niiden toiminta perustuu valtaosin sähkömagneettiseen induktioon. Mittamuuntajien pääasiallisena tehtävänä on galvaanisesti erottaa mittauspiiri suurjännitteisestä virtapiiristä. Tämä mahdollistaa mitta- ja suojalaitteiden standardoinnin tiettyihin mitoitusarvoihin sekä mittareiden ja releiden sijoittamisen etäälle mittauspaikasta. Mittamuuntajien on toistettava mittasuure mahdollisimman virheettömästi. Todellisuudessa mittaustulosta vääristävät tyhjäkäyntivirta ja käämitysten hajaimpedanssit; näiden vaikutukset näkyvät mittamuuntajien virta-, jännite ja kulmavirheinä. (Elovaara & Haarla 2011b, 198.)

Virtamuuntajan valinnassa huomio kiinnittyy nimellisarvoihin, rakenteen kestoisuuksiin, muuntajan sydämiin ja taakkaan. Virtamuuntajassa on erilliset sydämet mittausta ja suojausta varten. Mittaustarkoituksiin käytetyille virtamuuntajille on asetettu korkeampi tarkkuusluokkavaatimus kuin suojausmittauksiin tarkoitettuille virtamuuntajille. Mitoitustaakalla tarkoitetaan suurinta kuormitusimpedanssia, jolla virtamuuntajaa saa kuormittaa. Jotta virtamuuntaja esittää mittausvirran tarkasti, täytyy sitä kuormittaa tarkkuusluokasta riippuen 25 – 100 % tai 50 – 100 % kuormalla sen mitoitusakasta. Liian pieni tai suuri kuormitus aiheuttaa mittavirheen. (ABB 2000c, 1–3.)

5.4 Muuntajan oikosulkuimpedanssin määrittäminen

Verkon tehonjako- ja vikavirtalaskelmissa muuntaja kuvataan oikosulkuimpedanssina. Muuntajan oikosulkuimpedanssilla kuvataan sen rautasydämen ulkopuolella syntyvän magneettivuon suuruutta. Oikosulkuimpedanssin suuruus on suoraan verrannollinen käämien paksuuteen ja niiden väliseen etäisyyteen. (Elovaara & Haarla 2011a, 130, 133.)

Muuntajan impedanssin voidaan laskea suhteellisen oikosulkuimpedanssin, nimellisjännitteen ja -tehon avulla kaavalla 16.

$$Z_m = \frac{u_z}{100} \cdot \frac{U_N^2}{S_N} \quad (16)$$

missä	Z_m	muuntajan oikosulkuimpedanssi (Ω)
	u_z	muuntajan suhteellinen oikosulkuimpedanssi (%)
	U_n	nimellisjännite (V)
	S_n	nimellisteho (VA)

Muuntajan oikosulkuresistanssi ja -reaktanssi voidaan laskea samalla kaavalla kuin impedanssi, mutta muuntajan kilpiarvoissa harvoin ilmoitetaan resistanssin ja reaktanssin suhteellisia oikosulkuarvoja. Suhteellinen oikosulkuresistanssi voidaan laskea kilpiarvoista ilmoitetun nimelliskuormitushäviön ja nimellistehon suhteella kaavalla 17 ja oikosulkuresistanssi voidaan laskea kaavalla 18. (Lakervi & Partanen 2008, 27.)

$$u_r = \frac{P_k}{S_n} \quad (17)$$

missä	u_r	suhteellinen oikosulkuresistanssi (%)
	P_k	nimelliskuormitushäviö (W)

$$R_m = \frac{u_r}{100} \cdot \frac{U_N^2}{S_N} \quad (18)$$

missä	R_m	muuntajan oikosulkuresistanssi (Ω)
-------	-------	---

Muuntajan oikosulkureaktanssi voidaan laskea käyttämällä oikosulkuimpedanssia ja -resistanssia kaavassa 19.

$$X_m = \sqrt{Z_m^2 - R_m^2} \quad (19)$$

missä X_m muuntajan oikosulkureaktanssi (Ω)

5.5 Jakelumuuntajan mitoittaminen

Uutta jakelumuuntajaa mitoittaessa merkittävin vaikuttava tekijä on muuntajalle tulevan kuormituksen suuruus, joka määrittää muuntajan tehon. Toinen tekijä, joka vaikuttaa valintaan, on muuntajasta aiheutuvat häviökustannukset. Lisäksi on otettava huomioon muuntajan asennuspaikka ja miten, se vaikuttaa muuntajan valintaan. Esimerkiksi paloluokka voi vaatia, että käytetään kuivamuuntajaa. Jakelumuuntajan mitoittamisessa käytetään yhtälöä 20.

$$\left(1 + \frac{r}{100}\right)^T \cdot P_{max} < k \cdot S_n \cdot \cos \varphi \quad (20)$$

missä	P_{max}	muuntajan maksimikuorma (kW)
	r	kuormituksen kasvuprosentti vuodessa ($\%/a$)
	T	kuormituksen kasvuaika (a)
	k	muuntajan kuormituskerroin
	S_n	muuntajan nimellisteho (kVA)
	$\cos \varphi$	muuntopiirin tehokerroin

Jakelumuuntajien katsotaan vanhenevan normaalilla nopeudella, kun niitä käytetään nimelliskuormalla +20 °C jäähdytysilmassa. Muuntajan kuormitus on kuitenkin vaihteleva, jolloin pienen kuormituksen aikana se vanhenee hitaammin. Tämä antaa mahdollisuuden ylikuormittaa muuntajaa huippukuormien aikana kuormituskertoimen mukaan. Jakelumuuntajan kuormituskertoimia eri asennusolosuhteissa on esitetty taulukossa 3. (Verkostosuositus SA2:08, 7–8.)

Taulukko 3. Jakelumuuntamoiden kuormituskertoimia (Verkostosuositukset SA2:08, 8).

Muuntopiiri	Muuntamotyyppi		
	Pylväsmuuntamo	Puistomuuntamo	Kiinteistömuuntamo
Pientaloalue, sähkölämmitys	1,5	1,4	1,2
Kerrostaloalue	1,5	1,4	1,2
Keskusta-alue	1,4	1,3	1,0
Teollisuusalue	1,4	1,3	1,0
Maaseutualue	1,5	1,4	1,2

6 KESKIJÄNNITEKOJEISTOT

Kojeistot ovat rakennekokonaisuuksia, jotka sisältävät toiminnan kannalta tarpeelliset kytkentä-, suojaus-, ohjaus-, ja valvontalaitteet. Kojeistoja rakennetaan niin suurjännitteille kuin keski- ja pienjännitteille. Kojeistot voidaan luokitella ulko- ja sisäkojeistoihin sekä niiden rakenteen mukaan avorakenteisiksi tai koteloiduiksi kojeistoiksi. Avorakenteisia kojeistoja käytetään nykyisin vain suurjännitetasolla. Sähköasemien suurjännite kytkinkentät ovat avorakenteisia ulkokojeistoja. Ennen käytettiin myös avorakenteisia sisäkojeistoja, mutta näistä on siirrytty käyttämään koteloituja kojeistoja. Keskijänniteportaassa käytetään yksinomaan koteloituja kojeistoja. Tehdasvalmisteisissa kojeistoissa johtolähdöt ovat yksien kuorien sisällä, jossa kennot on erotettu seinillä ja kennot mahdollisesti osastoitu. Koteloidut kojeistot mahdollistavat SF₆ kaasun käytön kojeiston eristeaineena ilman lisäksi. (Elovaara & Haarla 2011b, 117–120.)

Koteloidut kojeistot jaetaan niiden ulkokuoren materiaalin mukaan metallikuoriin ja eristysainekuoriin kojeistoihin. Metallikuoriset jaetaan vielä kolmeen alalajiin sen sisäisen osastoinnin perusteella: metallikoteloidut, tilakoteloidut ja kennokoteloidut. Metalli- ja tilakoteloiduissa kojeistoissa kokoojakiskot, katkaisijat ja lähtöjen kojeet ovat omissa osastoissa. Metallikoteloidussa osastot on toteutettu maadoitetulla metallilla kun tilakoteloidussa se on toteutettu eristysaineella. Kennokoteloitujen kojeistojen komponentteja ei ole osastoitu, mutta kokoojakiskotila voi olla koteloitu. (Elovaara & Haarla 2011b, 120–121.)

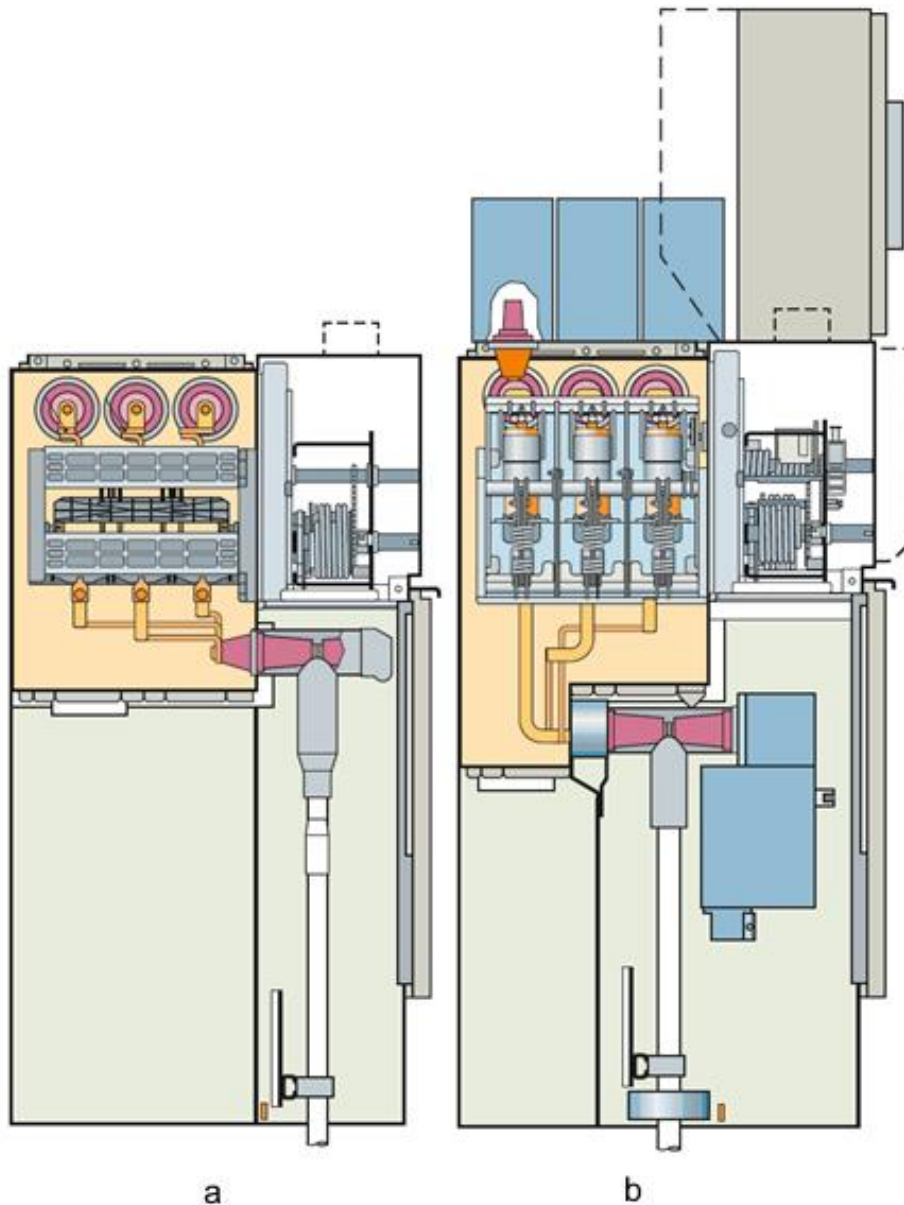
Jakeluverkon sähköasemien, voimalaitosten ja teollisuuslaitoksien sähköasemien keskijännitekojeistot toteutetaan katkaisijakojeistoina. Jakeluverkon muuntoasemilla käytetään kuormanerotinkojeistoja. Näiden kojeistojen eristysaineena käytetään ilmaa tai SF₆ eristyskaasua. Katkaisijakojeistot rakennetaan tavallisesti vaunukatkaisijoilla, ja erotinkojeistojen erottimet ovat yleensä kiinteästi asennettuja. (Elovaara & Haarla 2011b, 122–124.)

6.1 SF₆-eristeiset kojeistot

SF₆-eristeiset kojeistojen on alettu käyttää paikoissa, joissa tilaa on rajallinen määrä. SF₆-kaasun etu ilmaan on sen suurempi jännitelujuus ja sen hyvät valonkaaren sammutusominaisuudet. Tästä syystä sitä käytetään eristeenä ja katkaisuväliaineena. SF₆-kaasua pidetään kojeistoissa yleensä paineistettuna, mistä seuraa, että kaasu nesteytyy alhaisissa lämpötiloissa, jolloin kaasun jännitelujuus heikkenee. Tämän vuoksi kojeistot täytyy rakentaa lämmitettyihin tiloihin. Rikkiheksafluoridi (SF₆) on myrkytön, väritön, hajuton ja palamaton kaasu, mutta se on voimakas kasvihuonekaasu ja on tästä syystä tarkasti kontrolloitu kaasu. (Elovaara & Haarla 2011b, 50–53.)

Raskaissa keskijänniteverkon SF₆-eristeiset katkaisijakojeistoissa katkaisijat ja kokoojakiskot on sijoitettu omiin kaasutiloihin kaasun paineen ollessa 1,2 – 1,5 bar. Katkaisijana käytetään tyhjiö- tai SF₆-katkaisijoita, ja kiskot ovat joko yksi- tai kolmivaiheisesti koteloituja. Yleensä kokoojakiskon ja katkaisijan välille asennetaan kolmiasentoinen erotin, joka on käsi- ja moottoriohjattu. Kojetojen mitoitusvirrat ovat yleensä 630 – 2500 A ja katkaisukyky 12,5 – 40 kA. (Elovaara & Haarla 2011b, 136–138.)

Kevyemmissä kaasueristeisissä keskijännitekojeistoissa kytkinlaitteena voi toimia tyhjiökatkaisija tai kolmiasentoinen kuormaerotin. Kuvion 4 tapaan kytkinlaitte ja kokoojakiskot on sijoitettu samaan kaasutilaan. Keveitä keskijännitekojeistoja kutsutaan myös rengassyöttökojeistoiksi. Nämä ovat kokonaisuuksia, joissa samassa kaasutilassa on ennalta määritelty määrä kaapelilähtöjä tai yksittäisiä kennoja, jotka on asennettu viere viereen, jolloin niitä voidaan asentaa myöhemmin lisää. Rengassyöttökojeistojen yleinen mitoitusvirta on 630 A ja oikosulkukestoisuus 50 kA. Kojetojen kaasutilan paine on 0,2 – 0,5 bar, tämä mahdollistaa kojeiston asentamisen myös ulos. (Elovaara & Haarla 2011b, 138–139.)



Kuvio 4. SF₆-eristeisen kevyt keskijännitekojeiston kuormaerotin- (a) ja tyhjiökatkaisijakennot (b) (Siemens 2012).

Tyypillisesti SF₆-eristeisten keskijännitekojeistojen virtamittaukset suoritetaan kaasutilan ulkopuolella kaapeleiden ympärille sijoitetuilla rengasvirtamuuntajilla. Jännitemittaus suoritetaan joko magneettisella tai kapasitiivisellä jännitemuuntajalla, jotka asennetaan kaapelipääteeseen tai kojeiston päälle. Kuvan 3 tyhjiökatkaisijakennotissa virtamuuntaja on asennettu kaapelin juureen ja jännitemuuntajat on asennettu kaapelipääteeseen tai kojeiston päälle kiskostoon. Jännitemittauksella voidaan varmistaa, että kaapelit ovat irti verkosta ennen maadoitusta. (Elovaara & Haarla 2011b, 137–138.)

6.2 Kytkinlaitteet

Kytkinlaitteilla voidaan ohjata energian kulkua sähköverkoissa. Avaamalla ja sulkemalla kytkinlaitteita muutetaan verkon topologiaa tai erotetaan viallinen verkon osa verkosta. Kytkinlaitteiden tärkeimpiä ominaisuuksia ovat mm. katkaisukyky, sulkemiskyky, jatkuvan virran kestävyys, oikosulkuvirtakestoisuus ja jännitekestoisuus. Jakeluverkossa käytettäviä kytkinlaitteita ovat katkaisijat, erottimet, kytkimet ja kuormanerotimet. (Elovaara & Haarla 2011b, 161–162.)

6.2.1 Katkaisijat

Katkaisijalla suoritetaan virtapiirin avaaminen ja sulkeminen. Ominaista katkaisijoille on, että niillä voidaan avata ja sulkea oikosulkuvirtoja ilman, että ne vaurioituvat. Katkaisijat toimivat käsin ohjatusti tai automaattisesti. Automaattisen ohjauksen takana on yleensä jonkinlainen suojarole, joka aiheuttaa katkaisijan toiminnan. Katkaisijoita useita erityyppisiä, kuten ilma-, öljy-, paineilma-, SF₆- ja tyhjiökatkaisija. Katkaisijat lajitellaan eri kategorioihin sillä perusteella mitä väliainetta käytetään valokaaren sammuttamiseen ja jännitteisten osien eristämiseen katkaisijan muista osista. (Elovaara & Haarla 2011b, 162–163, 168–169.)

6.2.2 Erottimet

Erottimen ensisijainen tehtävä on muodostaa turvallinen avausväli kahden verkon osan välille sekä saattaa verkon osa jännitteettömäksi turvallista työskentelyä varten. Erotinta ei kuitenkaan ole suunniteltu avaamaan tai sulkemaan kuormitettua virtapiiriä. Käytännössä erottimella voidaan erottaa muuntajan tyhjäkäyntivirta tai lyhyt kisko. Vaikka erottimelta ei vaadita virran katkaisu- tai sulkemiskykyä, täytyy sen kuitenkin kyetä johtamaan kuormitus- ja oikosulkuvirta moitteitta. Erotin toimii katkaisijan kanssa yhteistyössä samassa piirissä, missä katkaisija katkaisee virtapiirin ja erotin estää piirin kytkeytymisen jännitteiseksi. (Elovaara & Haarla 2011b, 190.)

Kuormaerotin on erottimen ja katkaisijan yhdistelmä, jota käytetään paljon keskijänniteverkossa. Kuormaerottimella pysytään normaalin erotustehtävän lisäksi katkaisemaan suurehkoja kuormitusvirtoja ja pieniä oikosulkuvirtoja. Kuormaerottimet ovat yleensä kolmiasentoisia kytkimiä, joilla voidaan avata, sulkea ja maadoittaa piiri. Jos kuormaerotin varustetaan sulakkeilla, on kyseessä varokekuormaerotin. Näitä erottimia käytetään keskijänniteverkon jakelumuuntamoissa katkaisijoiden sijasta. Yhden varokkeen palaessa varokekuormaerottimen nastalaukaisulaite aiheuttaa kolminapaisen erottamisen. Kolminapainen erottaminen ei jätä muuntajaa vajaanapaisesti kytketyksi. (Elovaara & Haarla 2011b, 191, 195–197.)

6.3 Kojeistojen mitoittaminen

Keskijännitekojeistojen suunnittelu koostuu lähinnä rakennevalinnoista. Valittavia asioita ovat muun muassa rakenteiden kestoisuudet, kentät, kojeet, eristys ja sijoittelu. Vakiorakenteisten keskijännitekojeistojen rakenteiden kestoisuudet valitaan siten, että ne kestävät verkon nimellisvirrat ja -jännitteet sekä vikavirrat. Kojeistokokonaisuuden kenttävalinnat suoritetaan kohteen tarpeiden mukaan. Valmistajilta löytyviä kenttävalintoja ovat esimerkiksi kaapelinsyöttö-, muuntajansyöttö- ja mittauskentät, tyypillisiä kytkinvaihtoehtoja ovat kuormaerottimet ja tyhjiökatkaisijat. Kenttiin voidaan lisätä apukojeita, joista yleisimpiä ovat releet, vianilmaisimet, jännitteenosoittajat, mittalaitteet ja -muuntajat. Kojeiston eristysaineella on vaikutusta kokonaisuuden rakenteeseen, SF6 kaasulla eristetyt kojeistot ovat kooltaan pienempiä kuin ilmaeristeiset. Keskijännitekojeiston sijoittelussa on otettava huomioon kaapelireitit, sillä kaapelit asennetaan kojeistoihin niiden alapuolelta. Lisäksi kojeiston ympärille on varattava tarpeeksi vapaata tilaa jonka määrittelee kojeistovalmistaja, tällä huomioidaan riittävä ilman vaihtuminen ja tila paineenpurkauskanaville.

7 SÄHKÖKAAPELIT

Kaapeliksi määritellään sellaiset johtorakenteet, joissa jännitteelliset osat on eristetty muulla kuin ilmalla. Asennusteknisessä mielessä kaapelit ovat johtoja, jotka on sijoitettu kaapelikanaviin. Näitä ovat esimerkiksi kaapelihyllyt sisätiloissa tai maa- ja vesiasennukset ulkona. Kaapeleita käytetään siirtämään sähköenergia turvallisesti kulutuskohteeseen. Kaapeleita valmistetaan eri jännite-tasoille ja tästä johtuen niiden rakenteelle asetetaan erilaiset vaatimukset, jotta niiden käyttö on turvallista. (Elovaara & Haarla 2011b, 250.)

Vaihtosähkökaapeilta, jotka on tarkoitettu yli 1 kV:n jännitteille, kutsutaan voimakaapeleiksi, ja alle 1 kV:n kaapeleita kutsutaan asennuskaapeleiksi. Voimakaapeleiden nimellisjännitteet ilmoitetaan muodossa U_0/U , missä U_0 on johtimen ja maan välinen jännite eli vaihejännite ja U on johtimien välinen jännite, eli pääjännite. Asennuskaapeleilla U_0 ja U tarkoittavat suurimpia sallittuja käyttöjännitteitä. Voimakaapelilla ilmoitetaan erikseen suurin sallittu käyttöjännite U_m . (Elovaara & Haarla 2011b, 303.)

Kaapeleiden johdin aineena käytetään joko alumiinia tai kuparia. Alumiinia käytetään enemmän suurilla johdin poikkipinta-aloilla, koska kaapelit ovat kevyempiä ja halvempia. Kääntöpuolena on, että alumiinin ominaisresistanssi on suurempi kuin kuparilla, minkä takia alumiinijohtimet ovat noin 50 prosenttia paksumpia kuin saman virranjohtokyvyn omaavat kuparijohtimet. (Elovaara & Haarla 2011b, 307.)

7.1 Kaapelin mitoittaminen

Kaapelia valittaessa huomioitavia asioita on useita, mutta suurin painoarvo annetaan kahdelle asialle, taloudellisuudelle ja kuormitettavuudelle. Tavoitteena on löytää ratkaisu, jossa kaapeliyhteyden tekniset ehdot täyttyvät ilman, että kaapeliyhteys olisi taloudellisesti kannattamaton. Tekniset asiat, joita tarkastellaan, ovat kulutus ja sen kasvu, kaapelin kuormitettavuus, oikosulkuvirrat, kaapelin mekaaninen kestoisuus ja jännitteenalenema koko kaapelireitillä. Talou-

dellisiä tekijöitä ovat hankinta-, rakennus-, ylläpito- ja häviökustannukset. Käytännön syistä kaapelin mitoittamisessa suositellaan käytettäväksi suosituimmuskaapeleita. Nämä ovat kaapeleita, jotka ovat yleisesti käytössä ja joita on saatavilla nopeasti kaapelinvalmistajilta. Verkkoyhtiöt valitsevat yleensä, mitä suosituimmuskaapeleita verkon rakentamisessa käytetään ja varastoidaan. Tämä rajaa myös käytettävien kaapelityyppien valintaa ja voi aiheuttaa sen, että taloudellisinta valintaa ei aina voida tehdä. (Elovaara & Haarla 2011b, 316; ABB 2000b, 1.)

7.2 Kaapelin kuormitettavuus

Kaapelin kuormitettavuus on suurin virta, joka kaapelissa voidaan siirtää ilman, että se lämpenee liikaa. Tähän vaikuttavat kaapelien rakenne, ympäristön lämpötila, lähellä olevien muiden sähkö- ja lämpöjohtojen vaikutus, asennustapa, asennussyvyys ja maan lämpöresistiivisyys. Laskettaessa kaapelin kuormitettavuutta otetaan huomioon erilaisilla kertoimilla näiden muuttujien vaikutus. (Elovaara & Haarla 2011b, 316.)

Kaapeleille löytyy taulukoita, joissa on ilmoitettu niiden kuormitettavuus määräytyissä olosuhteissa. Taulukot on saatavissa kaapelinvalmistajilta tai esimerkiksi SFS 6000 standardista. Mikäli asennusolosuhteet eroavat näistä arvoista, täytyy todellinen kuormitettavuus laskea korjauskerotoimien avulla. Korjattu kuormitettavuus voidaan laskea kaavalla 21. (Sähkö- ja teleurakoitsijaliitto STUL ry 2012, 223.)

$$I_n' = k_1 \cdot k_2 \cdot k_3 \cdot \dots \cdot k_n \cdot I_n \quad (21)$$

missä	I_n	kaapelin nimellinen kuormitettavuus
	I_n'	kaapelin korjattu kuormitettavuus
	k_n	korjauskerroin

7.3 Kaapelin impedanssin määrittäminen

Kaapelin resistanssi- ja reaktanssitiedot löytyvät kaapelinvalmistajan tiedoista. Resistanssi ja reaktanssi arvot on ilmoitettu pituusyksikköä kohden. Arvo on muotoa Ω/km . Lisäksi resistanssi on tietyssä lämpötilassa ilmoitettu arvo. Kaapelin impedanssi saadaan laskettua kaavalla 22. Joissain tapauksissa reaktanssin arvo ilmoitetaan impedanssina pituusyksikköä kohden (mH/km). Tällöin reaktanssin voidaan selvittää induktiivisen reaktanssin kaavalla 23.

$$Z_j = (r + jx)l \quad (22)$$

missä	Z_j	kaapelin impedanssi (Ω)
	r	kaapelin resistanssi pituusyksikköä kohden (Ω/km)
	x	kaapelin reaktanssi pituusyksikköä kohden (Ω/km)
	l	kaapelin pituus (km)

$$X_L = 2\pi \cdot f \cdot L \quad (23)$$

missä	X_L	induktiivinen reaktanssi (Ω)
	f	verkon taajuus (Hz)
	L	induktanssi (H)

Kun lasketaan oikosulkupiiriin kaapeleiden impedanssia, käytetään resistanssiarvoina 40 °C:een vastaavia vastusarvoja. Eri lämpötiloissa ilmoitetut arvot voidaan muuttaa vastaamaan eri lämpötilojen arvoja taulukon 4 avulla. (Lakervi & Partanen 2008, 30.)

Taulukko 4. Kupari- ja alumiinijohtimien resistanssin korjauskertoimia (Oy Nokia Ab Kaapelitehdas 1975, 47).

Johtimen lämpötila °C	Kupari	Alumiini
20	1,0000	1,0000
40	1,0786	1,0806
65	1,177	1,182
90	1,275	1,285

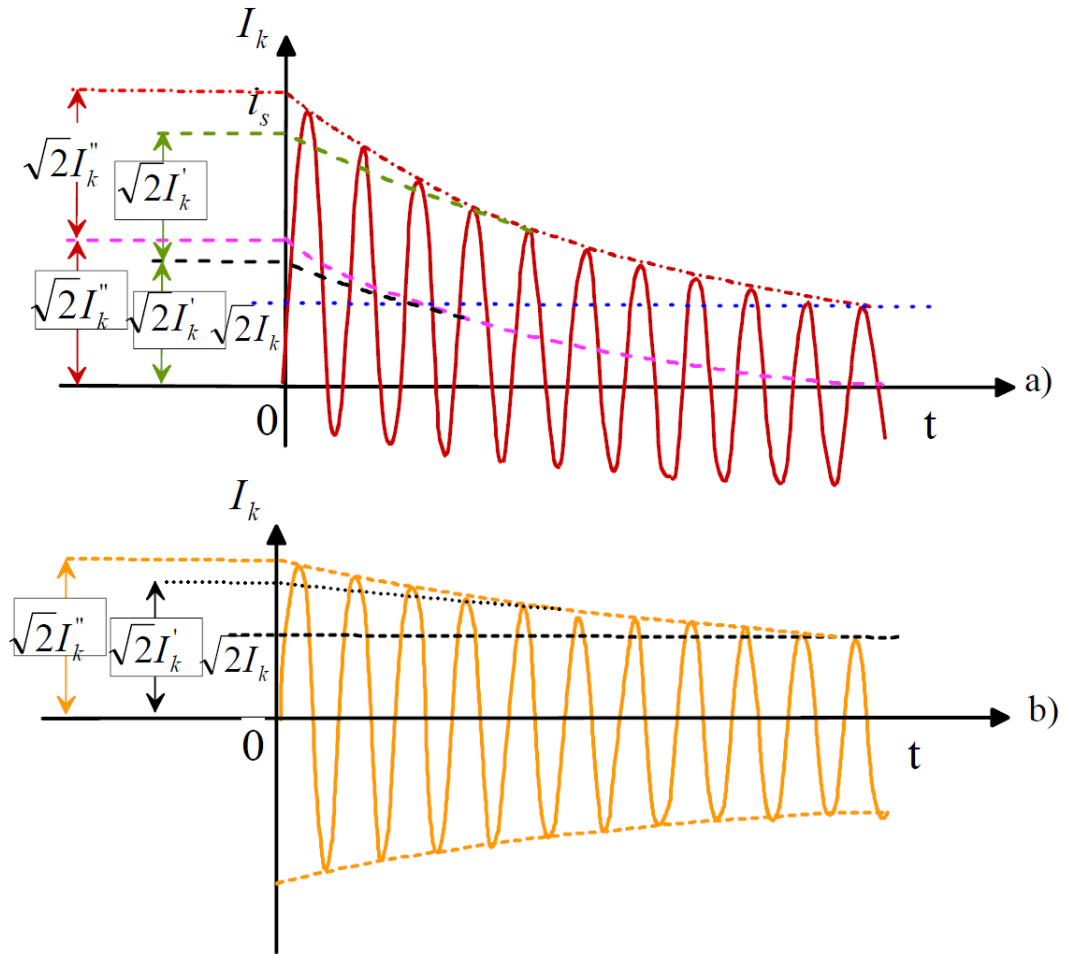
8 SÄHKÖJAKELUN VIKATILANTEET

Sähkönjakelujärjestelmän suunnittelussa on tärkeä tarkastella verkon vikatilanteita. Yleisimpiä vikatilanteita ovat oiko- ja maasulku. Oikosulussa virtapiiri sulkeutuu kahden tai kolmen vaiheellisen johtimen kautta. Maasulussa viassa on mukana myös maakosketus. Vian aiheuttajia voivat olla salamasta tai verkon sisäisestä viasta aiheutuva ylijännite, laitteiden toimintahäiriöstä tai vikatoiminnasta johtuva häiriö tai verkkokomponentin eristyskyvyn huonontuminen likaantumisen tai mekaanisen vaurion takia. Viat voivat aiheuttaa henkilövahinkojen lisäksi laitteistojen vikaantumista ja kuumenemista sekä häiriöitä sähkönjake- lussa. (Elovaara & Haarla 2011a, 166; Lakervi & Partanen 2008, 28.)

8.1 Oikosulku

Oikosulku ilmenee verkossa symmetrisenä ja epäsymmetrisenä. Symmetrisessä viassa oikosulun kaikki vaikutukset ovat jokaisella vaiheella samanlaiset. Muuntajan tai johdon kolmivaiheinen oikosulku on symmetrinen vika. Epäsymmetrisiä vikoja ovat 1- tai 2-vaiheiset maasulut sekä kaksivaiheinen oikosulku. Näissä vioissa jännitteet ja virrat eivät ole samansuuruisia eri vaiheilla. (Elovaara & Haarla 2011a, 166, 177.)

Suljetun oikosulkupiirin impedanssi on pääsääntöisesti induktiivista ja täten virta induktiivista loisvirtaa. Kuvion 5 kuvaaja a on epäsymmetrinen oikosulkuvirta ja kuvaaja b symmetrinen oikosulkuvirta. Kuvaajasta a havaitaan, että epäsymmetrisessä oikosulkuvirrassa on vaihtovirtakomponentin lisäksi ajan myötä vai- meneva tasavirtakomponentti, jonka suuruus riippuu verkon vaihtojännitteen vaihekulmasta oikosulun syntyhetkellä. Kuvaajassa b ei ole tasavirtakompo- nenttia ollenkaan, koska oikosulku on syntynyt silloin kun verkon jännitteen vai- hekulma on ollut 0° tai 180° , jolloin virta on symmetrinen. Kolmivaihejärjestel- mästä johtuva 120° vaihe-ero aiheuttaa sen, että vain yhdessä vaiheessa ker- rallaan voi esiintyä symmetrinen oikosulkuvirta. (Elovaara & Haarla 2011a, 171; Huotari & Partanen 1998, 3.)

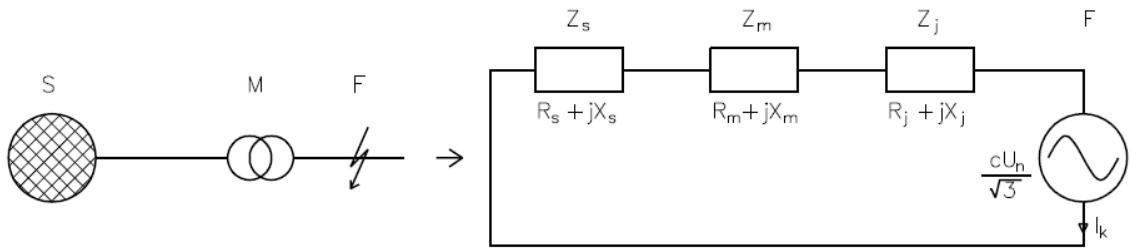


Kuvio 5. Epäsymmetrinen (a) ja symmetrinen (b) oikosulkuvirta (Martimo, 2012, 43).

Kuvion 5 käyrissä on esitetty oikosulkuvirran vaimeneminen alkutilasta muutostilan kautta pysyvätilan arvoon. Alkuoikosulkuvirta I_k'' ilmenee oikosulun syntyhetkellä, jolloin piirissä vaikuttavat pyörivien koneiden alkureaktanssit. Alkuoikosulkuvirta vaimenee nopeasti, noin 0,1 sekunnissa muutosoikosulkuvirran arvoon. Muutosoikosulkuvirta I_k' piirissä vaikuttaa koneiden kasvaneet reaktanssit, muutosreaktanssit, minkä johdosta virta vaimenee 3 – 6 sekunnissa pysyvän tilan arvoon I_k . Tällöin tasavirtakomponentti on vaimentunut pois ja jäljelle jäänyt vaihtovirtakomponentti ja pyörivien koneiden reaktanssit ovat suurimmillaan, eli oikosulkuvirran vaimeneminen riippuu pyörivien koneiden reaktanssien muutoksesta. Muutosilmiöt ovat suurimpia voimalaitosten ja suurten teollisuuslaitoksien läheisyydessä. Jos oikosulkupiirin läheisyydessä ei ole pyöriviä koneita, eivät muutokset oikosulkuvirrassakaan ole niin suuria, ne voidaan jättää huomioimatta. (Elovaara & Haarla 2011a, 171–175.)

8.2 Oikosulkuvirtojen laskeminen

Symmetrisen oikosulkuvirran laskemiseen käytetään Theveninin menetelmää, jossa verkosta muodostetaan yksivaiheinen sijaiskytkentä. Verkon komponentit korvataan myötaverkon oikosulkuimpedansseilla ja vikapaikkaan sijoitetaan siellä vaikuttava jännite kuvion 6 mukaan. (Huotari & Partanen 1998, 8.)



Kuvio 6. Symmetrisen oikosulkuvirran laskennassa käytetyn Theveninin menetelmän periaatekuva. (Huotari & Partanen 1998, 8).

Kuvassa 6 oleva sijaiskytkentää voidaan käyttää vain, kun vika on symmetrinen, eli kolmivaiheinen oikosulku. Symmetrisissä vioissa oikosulkuvirtaan vaikuttaa vain myötaverkon impedanssit. Vian tyyppi määrittää sen, vaikuttaako oikosulkuvirtaan myötä-, vasta- ja nollaverkonimpedanssi. Symmetrisissä vioissa vaikuttaa vain myötaverkonimpedanssi, epäsymmetrisissä vioissa vaikuttavat lisäksi vasta- ja nollaverkonimpedanssit. (Huotari & Partanen 1998, 8–10.)

Kaavassa 24 on esitetty oikosulkuvirran laskeminen Theveninin menetelmällä. Kaavassa oleva jännitekerroin c on IEC 60909 standardissa (taulukko 5) käytetty kerroin, jolla huomioidaan muuntajan käämikytkimen asento. (ABB 2000a, 1–2.)

$$I_k = \frac{c \cdot U_n}{\sqrt{3} \cdot Z_k} \quad (24)$$

missä	I_k	oikosulkuvirta (A)
	U_n	syöttävän verkon pääjännite (V)
	Z_k	vikapaikan kokonaisimpedanssi (Ω)
	c	IEC 60909- standardin mukainen jännitekerroin

Taulukko 5. IEC 60909-standardissa määritellyn jännitekertoimen arvo eri jännitetasoilla. (ABB 2000a, 2).

Nimellisjännite U_n	Maksimioikosulkuvirta c_{\max}	Minimioikosulkuvirta c_{\min}
100 V – 1000 V		
a) 230 V / 400 V	1,00	0,95
b) muut jännitteet	1,05	1,00
1 kV – 35 kV	1,10	1,00
35 kV – 230 kV	1,10	1,00

Oikosulkuimpedanssit koostuvat komponenttien resistanssin ja reaktanssin summasta. Resistansseja käsitellään reaalityyppinä ja reaktansseja imaginaarityyppinä; sähkötekniikassa imaginaarityyppi ilmoitetaan kirjaimella j , matematiikassa käytetyn kirjaimen i sijasta. Symmetrisessä viassa vaikuttavat syöttävän verkon impedanssi, muuntajien ja kaapeleiden impedanssit. Kaapeleiden ja muuntajien impedanssien laskeminen on esitetty aiemmissa luvuissa. Tässä esitetään syöttävän verkon impedanssin selvittäminen.

Syöttävälle verkolle ilmoitetaan yleensä kolmivaiheinen oikosulkuvirta tai oikosulkuteho, joiden pohjalta voidaan laskea impedanssi kaavalla 25, ellei tiedossa ole kantaverkkoyhtiöltä saatu impedanssi.

$$Z_{sv} = \frac{cU_n^2}{S_s''} = \frac{cU_n}{\sqrt{3} \cdot I_s} \quad (25)$$

missä S_s'' syöttävän verkon oikosulkuteho (VA)
 I_s syöttävän verkon oikosulkuvirta (A)
 Z_{sv} syöttävän verkon kokonaisimpedanssi (Ω)

Jos syöttävä verkko on jännitteeltään yli 35 kV avojohtoverkko ja tunnetaan vain verkon impedanssi, voidaan impedanssi jakaa resistanssi- ja reaktanssiosiin kaavan 26 mukaan.

$$R_{sv} = 0,1 \cdot X_k \text{ ja } X_k = 0,995 \cdot Z_k \quad (26)$$

missä R_s syöttävän verkon kokonaisresistanssi (Ω)
 X_s syöttävän verkon kokonaisreaktanssi (Ω)

Jos verkossa on useampi jänniteporras, täytyy impedanssit redusoida tarkasteltavaan jännitetasoon, jotta tulokset ovat todenmukaiset. Impedanssit voidaan redusoida kaavalla 27. Myös resistanssit ja reaktanssit voidaan redusoida tällä kaavalla. (Elovaara & Haarla 2011a, 135.)

$$Z' = \left(\frac{U_2}{U_1}\right)^2 \cdot Z \quad (27)$$

missä	Z'	reduoitu impedanssi (Ω)
	Z	reduoitava impedanssi (Ω)
	U_1	jännitetaso mistä redusoidaan (V)
	U_2	jännitetaso mihin redusoidaan (V)

8.2.1 Kolmivaiheinen oikosulkuvirta

Kolmivaiheinen oikosulku on symmetrinen vika, jossa syntyy kosketus kolmen vaihejohtimen välillä. Kolmivaiheisessa viassa vaikuttaa vain myötaverkon impedanssi. Kolmivaiheinen oikosulkuvirta voidaan laskea kaavalla 28.

$$I_{k3} = \frac{c \cdot U_n}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{(R_s + R_m + R_j)^2 + (X_s + X_m + X_j)^2}} \quad (28)$$

missä

R_s, X_s	syöttävän verkon resistanssi ja reaktanssi (Ω)
R_m, X_m	muuntajan oikosulkuresistanssi ja -reaktanssi (Ω)
R_j, X_j	vikapaikkaan johtavien johtojen resistanssi ja reaktanssi (Ω)

8.2.2 Kaksivaiheinen oikosulkuvirta

Kaksivaiheista oikosulkuvirtaa määritettäessä täytyy ottaa huomioon myötaverkon impedanssin lisäksi myös vastaverkon impedanssi. Verkoissa, joissa ei ole pyöriviä koneita lähellä, vastaverkon impedanssin on yhtä suuri kuin myötaverkon impedanssi, jolloin impedanssi on kaksinkertainen. Täten 2-vaiheinen oi-

kosulkuvirta voidaan laskea kolmivaiheisen oikosulkuvirran I_{k3} avulla kaavalla 29. (Lahti ym. 2005, 59.)

$$I_{k2} = \frac{\sqrt{3}}{2} I_{k3} \quad (29)$$

8.2.3 Yksivaiheinen oikosulkuvirta

Yksivaiheinen oikosulku on mahdollinen vain pienjänniteverkoissa, joissa muuntajan tähtipiste on maadoitettu. Muissa verkoissa on kyse 1-vaiheisesta maasulusta. Vika ilmenee kun verkon jännitteellinen osa koskettaa nollajohdinta tai maadoitettua osaa. Vikatilanteessa verkon kahden muun vaiheen jännite kasvaa ja verkko joutuu epäsymmetriseen tilaan. Yhtälöllä 30 voidaan laskea yksivaiheinen oikosulkuvirta. (Lahti ym. 2005, 59.)

$$I_{k1} = \frac{3 \cdot c U_v}{\sqrt{\left(2R_m + R_{m0} + 3l(R_j + R_0)\right)^2 + \left(2X_m + X_{m0} + l(2X_j + X_{j0} + 3X_0)\right)^2}} \quad (30)$$

missä	U_v	vaihejännite (V)
	c	jännitekerroin
	l	pituus (km)
	R_m, X_m	muuntajan oikosulkuresistanssi ja – reaktanssi (Ω)
	R_{m0}, X_{m0}	muuntajan nollaresistanssi ja – reaktanssi (Ω)
	R_j, X_j	vaihejohtimen resistanssi ja reaktanssi (Ω)
	X_{j0}	vaihejohtimen nollareaktanssi (Ω)
	R_0, X_0	nollajohtimen resistanssi ja reaktanssi (Ω)

8.3 Sysäysoikosulkuvirta

Sysäysoikosulkuvirta on oikosulkuvirran suurin mahdollinen hetkellisarvo, joka ilmenee 10 ms jälkeen oikosulun syntymisestä. Sysäysoikosulkuvirtaa, jota kutsutaan myös dynaamiseksi oikosulkuvirraksi, käytetään laitteiden mekaanisessa mitoittamisessa. Dynaaminen oikosulkuvirta aiheuttaa suurimman mekaanisen rasituksen laitteistoille. Sysäysoikosulkuvirta i_p voidaan laskea kaavalla 31. (Huotari & Partanen 1998, 23–24.)

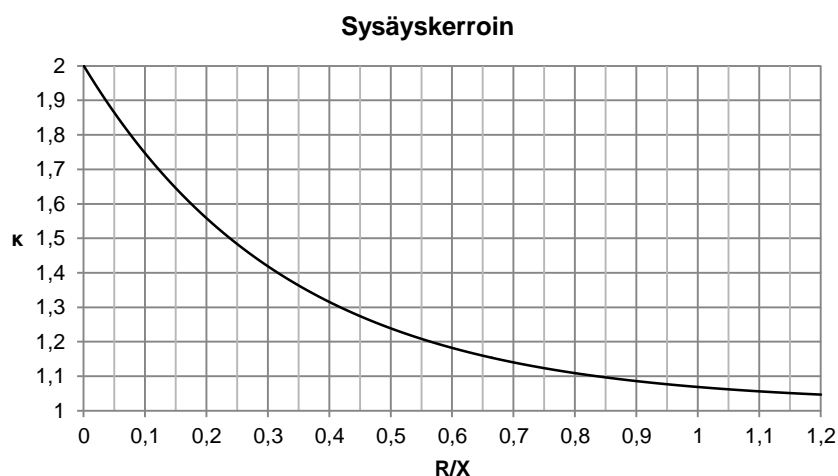
$$i_p = \kappa \sqrt{2} I_k'' \quad (31)$$

missä κ sysäyskerroin
 I_k'' alkuoikosulkuvirta (A)

Verkoissa, joissa ei ole pyöriviä koneita lähellä, voidaan alkuoikosulkuvirran tilalla käyttää kolmivaiheista oikosulkuvirtaa I_{k3} , koska oikosulkuvirran muutosilmiöt eivät vaikuta vikavirran suuruuteen.

Sysäyskerroin riippuu oikosulkupiirin resistanssin ja reaktanssi suhteesta. Sysäyskerroin κ voidaan laskea kaavalla 32 tai kuvion 7 käyrästä. Mikäli sysäyskerrointa ei saada selvitettyä, voidaan keskijännitteellä kertoimena käyttää 1,8 ja pienjännitteellä käyttää kerrointa 1,44. (Huotari & Partanen 1998, 24.)

$$\kappa = 1,02 + 0,98e^{-3\frac{R}{X}} \quad (32)$$



Kuvio 7. Sysäyskerroin κ

8.4 Terminen oikosulkuvirta

Sysäysoikosulkuvirran ollessa hetkellisarvo terminen oikosulkuvirta on jatkuvan tilan arvo. Termisellä oikosulkuvirralla tarkoitetaan virtaa, joka lämmittää oikosulkupiirin johtoja, virtakiskoja ja kojeistoja määrätyn ajan. Yleensä aika on 1 sekunti, mutta aika voi olla pitempikin. Tehdasvalmisteisille laitteistoille onkin

määritelty IEC standardin mukaan suurin oikosulkuvirran tehollisarvo, jonka laite kestävä määrätyn ajan ilman, että se lämpiää yli sille asetettujen raja-arvojen. Laitteistojen terminen kestovirta selvitetään yleensä termisellä oikosulkukokeella, jossa virtojen tehollisarvot on standardoitu. (Elovaara & Haarla 2011b, 81–83.)

Käytännössä oikosulkuvirta harvoin rasittaa kojeistoa sen koestuksen pohjana olevaa aikaa. Tästä syystä todellisen ajan kestävä oikosulkuvirta on muutettava vastaamaan koestuksen ajan kestäväksi ekvivalenttiseksi oikosulkuvirraksi. Tällöin voidaan verrata verkossa ilmenevää termistä oikosulkuvirtaa koestuksessa saatuun termiseen oikosulkuvirtaan. Ekvivalenttinen terminen oikosulkuvirta voidaan laskea yhtälön 33 avulla, yhtälö edellyttää, että oikosulkuvirta pysyy vakiona sen palamisajan. (Elovaara & Haarla 2011b, 83–84.)

$$I_{t1} = I_k \cdot \sqrt{\frac{t_k}{t_1}} \quad (33)$$

missä	I_{t1}	vakiona pysyvä ekvivalenttinen oikosulkuvirta (A)
	I_k	oikosulkuvirta (A)
	t_1	kojeen koestuksen kesto aika (s)
	t_k	oikosulkuvirran I_k kesto aika (s)

8.5 Maasulku

Virtapiirin jännitteellisten osien joutuessa kosketuksiin maan tai maadoitetun laitteen johtavaan osaan kanssa, syntyy maasulku. Maadoitetussa verkossa maasulkuvirran aiheuttaman vaarajännitteen vuoksi aiheutuu vikapaikkaan ja sen läheisyyteen hengenvaara. Maasulkuvirran suuruus riippuu vikaresistansista, miten monta tähtipistettä on maadoitettu ja onko maadoitus tehty sammutuskuristimen kautta vai suoraan. Maasulkuvirtaa rajoittavat muuntajat, kaapelit ja sammutuskuristimet. (Elovaara & Haarla 2011b, 340.)

Sammutetuissa verkoissa maasulkuvirran suuruutta pienennetään verkkoon tähtipisteeseen kytketyllä sammutuskuristimella. Kompensointi voidaan toteuttaa keskijänniteverkossa keskitetysti tai hajautetusti. Keskitetyssä ratkaisussa

verkossa on yksi sammutuskuristin sähköasemalla, jolla sammutetaan verkon kaikki maasulut. Hajautetussa kompensoinnissa verkon eri johto osille mitoite-
taan sammutuskuristimet, jotka kompensoivat vain kyseisen johdon tuottaman
maasulkuvirran. (ABB 2000d, 7–8.)

9 PIRTIN MUUNTOASEMA

Pirtin muuntoasema sijaitsee Kemin keskustassa Kauppakatu 4:ssä. Rakennus on kaksikerroksinen betonisokkelin päälle punatiilestä tehty rakennus, joka on valmistunut arviolta 1920- tai 1930-luvulla. Rakennus on 5,7 metriä leveä, 7,8 metriä pitkä ja arviolta 10 metriä korkea. Pinta-alaa kahdessa kerroksessa on yhteensä noin 75 m². Liitteessä 1 on pohjakuva asemasta.

Valmistuttuaan muuntoaseman keskijännitekaapelit tuotiin ilmalinjana rakennuksen toiseen kerrokseen. Paikat, mistä ilmakaapelit tuotiin, on nähtävissä rakennuksen yläosassa olevista umpeen muuratuista aukoista. Jossain vaiheessa rakennuksen elämää ilmajohdot on purettu ja korvattu maakaapeleilla. Asemalla on kaksi jakelumuuntajaa, keskijännitekojeisto, pienjännitekeskus ja lisäksi näitä tukevia apulaitteita. Laitteet on viimeksi uusittu vuonna 1970, ja vuonna 1989 on tehty muutoksia kojeistojen kytkentöihin. Lisäksi asemalla on katuvalokaappi ja myöhemmin asennettu kaukokäyttölaitteisto ja sen akusto.

Pirtin muuntoaseman toimii myös 20 kV kytkinasemana, muuntoaseman lisäksi. Aseman keskijännitesyöttö tulee Syväkankaalla sijaitsevalta 110kV/20kV sähköasemalta, varasyötön tullessa Karihaaran 110kV/20kV sähköasemalta. Kuva tästä on liitteessä 2. Pirtin muuntoasema syöttää keskijännitettä muihin Kemin keskustassa sijaitseviin muuntoasemiin. Pienjännitekojeistosta syötetään käyttöjännite aseman läheisyydessä oleviin kiinteistöihin, kaapelinjakokaappeihin ja katuvalaistukselle.

9.1 Pirtin jakelumuuntajat

Pirtin muuntoasemalla on kaksi kappaletta 800 kVA:n paisuntasäiliöllistä jakelumuuntajaa. Muuntajat on valmistanut vuonna 1970 Strömberg, joka on nykyisin osa ABB:tä. Malliltaan muuntajat ovat KTMU 24x4 ja sen tarkemmat sähköiset ja tekniset nimellistiedot löytyvät taulukosta 6. Muuntajien tiedot taulukkoon on poimittu Kemin Energian verkkotietojärjestelmästä.

Taulukko 6. Pirtin jakelumuuntajien M128 ja M127 sähköiset ja tekniset tiedot

Strömberg KTMU 24x4			
Nimellisteho	800 kVA	Kytkentäryhmä	Dyn11
Ensiöpuolen jännite	20 kV	Toisiopuolen jännite	0,4 kV
Kuormitushäviö	7 800 W	Tyhjäkäyntihäviöt	1 220 W
Oikosulkuresistanssi	0,975 %	Oikosulkuimpedanssi	4,900 %
Kokonaispaino	2900 kg	Öljymäärä	680 kg

Muuntajat on asennettu keskijännitekojeistossa oleviin kennoihin numero 1 ja 2, missä niiden vuonna 1970 vaadittu kosketusjännitesuojaus toteutuu. Muuntajat on nimetty verkkotietojärjestelmässä 128/800 ja 127/800, tässä työssä käytetään nimityksiä M128 ja M127. Molempien muuntajien alle betoniin on tehty 70 cm syvä, 90 cm pitkä ja 2,1 m leveä öljykuoppa, josta on yhteys öljykaivoon. Kuopan päälle on asennettu teräsverkko jonka päällä on kerros sepeliä.

Muuntajat on kytketty aseman kiskostoon omien varoke-erottimen kautta ja muuntajien ylivirtasuojana toimii NEBB:n valmistamat 40 A suurjännitesulakkeet. Muuntajien lämpötilaa vahtii Kihlströms Ab:n valmistamat lämpötilamittarit. Muuntajien toisiopuolelle on asennettu virtamuuntajat, joilla saadaan tieto muuntajien kuormasta Kemin Energian Peurasaaren toimiyksikön valvomoon.

9.1.1 Muuntajien kuormitukset

Muuntaja M128 syöttää sähköä 119:sta kuluttajalle, joiden vuosienergia on yhteensä 1074,5 MWh. M127 muuntaja syöttää sähköä 66 kuluttajalle ja näiden vuosienergia on 1314,5 MWh. Liitteessä 3 on Kemin Energian SCADA-järjestelmästä tulostettu yhden vuorokauden virtakäyrä molemmille Pirtin muuntoaseman muuntajalle. Kuormitus mittauksen aikaväli on Helmikuun 20. ja 21. päivän klo 7.25 – 7.25 väliltä. Muuntajan M128 virtakäyrä on punainen ja muuntajan M127 käyrä on harmaa.

Muuntajien kuormitushuippu sijoittuu päivälle, kello 10.00 ja 18.00 väliselle ajalle. Muuntoaseman läheisyydessä on paljon liiketiloja, mikä selittää kulutushui-

Virta	Muuntaja M128	Muuntaja M127
I_{\max}	407,3 A	483,5 A
I_{\min}	183,6 A	145,0 A
I_{ka}	279,5 A	296,9 A

KUORMITUSVIRTA (A)

Legend: Keskiarvo (red), Varmuuskerroin (green)

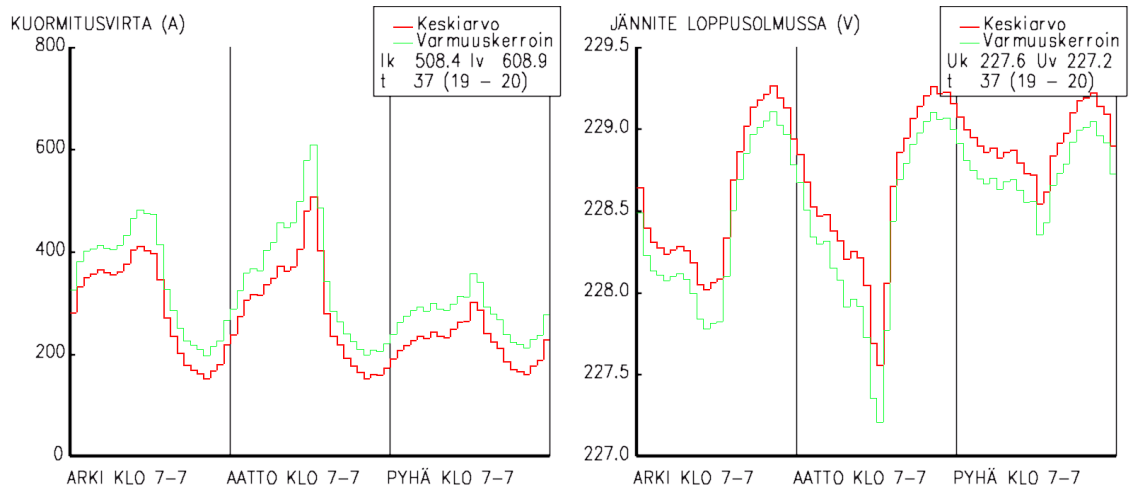
Ik 356.7 Iv 407.9
t 11 (17 - 18)

JÄNNITE LOPPUSOLMUSSA (V)

Legend: Keskiarvo (red), Varmuuskerroin (green)

Uk 228.3 Uv 228.1
t 11 (17 - 18)

Kuvio 8. Jakelumuuntajan M128 kuormitus ja jännitteenalenema käyrälaskenta-



Kuvio 9. Jakelumuuntajan M127 kuormitus ja jännitteenalenema käyrälaskenta

Käyrälaskennan ajaksi valittiin vuoden toinen 2-viikkojakso, jolloin laskentalämpötilana on $-9,2\text{ }^{\circ}\text{C}$. Laskentajännitteenä käytettiin 230 V ja laskennan todennäköisyydeksi valittiin 95 prosenttia. Käyrien X-akselilla arki on viikon viisi arkipäivää, jotka on oletettu samanlaisiksi, aatto on lauantai ja pyhä sunnuntai. Punainen käyrä, joka on nimetty keskiarvo, on laskettu käyttämällä 50 prosentin todennäköisyyttä sille, että virta ei ylitä huippuvirtaa. Vihreä käyrä (nimetty varmuuskerroin) on laskettu käyttäen asetettua 95 prosentin todennäköisyyttä sille, ettei virta nousi huippuarvon yli. Kummankin käyrän huippuarvot, tunti sekä kellonaika ovat annettuna kuvioden oikeassa ylä laidassa.

Muuntajan M128 huippukuorma ilmenee arkena klo 17 – 18 välisenä aikana. Lauantaina huippu löytyy klo 18 – 19 väliseltä ajalta ja sunnuntaina klo 20 – 21 väliseltä ajalta. Suurimmat jännitteenalenemat ilmenevät samoihin aikoihin kuin huippuvirrat. Alimmat kuormitukset ovat klo 3 – 4 välisenä aikana arkena ja lauantaina, sunnuntaina alin kuorma on klo 7 – 8 aikana. Muuntajan M127 huippukuorma on lauantaina klo 19 – 20 ajalta. Arkena huippu löytyy 17 – 18 väliseltä tunnilta ja sunnuntain klo 19 – 20 välistä. Pienimmät kuormitukset sijoittuvat yöaikaan klo 3 – 4.

SCADA-järjestelmästä saatuja kulutustietoja sekä vtj:llä laskettuja virtakäyriä tarkasteltaessa havaitaan, että kuormitukset ovat jakelumuuntajien tehoon nähden pienet ja pienjänniteverkkoa voitaisiin syöttää yhdellä 800 kVA:n jakelu-

muuntajalla. Todennäköistä on, että Pirtin muuntoasema on syöttänyt suurempaa pienjänniteverkkoa, mutta sen syöttämää verkkoa on pienennetty, kun keskusta-alueelle vuosien saatossa lisätty uusia jakelumuuntamoita.

9.1.2 Muuntajien häviöt

Pirtin jakelumuuntajien nimelliskuormitushäviöt P_{KN} ja tyhjäkäyntihäviöt P_{ON} löytyvät taulukosta 6. Jännitteestä riippuvainen tyhjäkäyntihäviö saadaan laskettua kaavalla 10.

$$P_0 = \left(\frac{400 \text{ V}}{400 \text{ V}} \right)^2 \cdot 1\,220 \text{ W} = 1\,220 \text{ W}$$

Yhden Pirtin 800 kVA:n jakelumuuntajan vuosittainen tyhjäkäyntihäviöenergia on 10687,2 kWh ja kahden muuntajan yhteinen energia on 21374,4 kWh. Yhden muuntajan energia saadaan laskettua kaavan 13 avulla.

$$W_{h0} = 1,22 \text{ kW} \cdot 8760 \text{ h} = 10687,2 \text{ kWh}$$

Muuntajien M128 ja M127 kuormitushäviöiden suuruuden selvittämiseksi kerättiin verkkotietojärjestelmästä arvoja taulukkoon 8.

Taulukko 8. Muuntajien käyttöarvoja

M128	kuormituksen maksimiteho	265 kW
	häviöhuipun käyttöaika	2961 h
M127	kuormituksen maksimiteho	394 kW
	häviöhuipun käyttöaika	2274 h
Pienjänniteverkon tehokerroin $\cos \varphi$		0,95

Muuntajan M128 ja M127 kuormitusten vaikutukset muuntajien kuormitushäviöihin voidaan laskea kaavalla 9 jonka jälkeen voidaan selvittää häviöenergia kaavalla 13.

$$P_{kM128} = \left(\frac{\frac{265 \text{ kW}}{0,95}}{800 \text{ kVA}} \right)^2 \cdot 7,8 \text{ kW} = 0,948 \text{ kW}$$

$$P_{kM127} = \left(\frac{394 \text{ kW}}{\frac{0,95}{800 \text{ kVA}}} \right)^2 \cdot 7,8 \text{ kW} = 2,096 \text{ kW}$$

$$W_{hM128} = 0,948 \text{ kW} \cdot 2961 \text{ h} = 2807 \text{ kWh}$$

$$W_{hM127} = 2,096 \text{ kW} \cdot 2274 \text{ h} = 4766 \text{ kWh}$$

Muuntajan M128 vuotuiseksi kokonaishäviöenergiaksi saadaan 13494,2 kWh ja muuntajan M127 saadaan 15453,2 kWh ja näiden summaksi tulee 28947,4 kWh. Häviöistä aiheutuvia kustannuksien suuruus on riippuvainen sähkön markkinahinnasta, vuoden 2014 sähkön markkinahinnan keskiarvo oli 29,16 €/MWh. Muuntajista M128 ja M127 aiheutuva häviökustannus on tällöin noin 844 € vuodessa.

9.2 Pirtin keskijännitekojeisto

Pirtin ilmaeristeinen keskijännitekojeisto on Strömbergin valmistama ja on tyyppiltään Meka 24 G0. Kojeistossa on 12 kennoa, jotka löytyvät aseman ensimmäisestä ja toisesta kerroksesta. Kojeisto on asennettu kahteen kerrokseen, johtuen aseman rakenteesta ja kojeiston suuresta koosta. Kojeiston kennot 1 - 3 sijaitsevat rakennuksen ensimmäisessä kerroksessa ja kennot 4 - 12 on asennettu toiseen kerrokseen. Kojeisto on väriltään vaalean vihreä, kennoissa on joko yksi tai kaksi ovea. Yksi kojeiston vakiokokoinen kenno on kooltaan 2,35 m korkea, 1,25 m leveä ja 1,3 m syvä.

Lukuun ottamatta muuntajakennoja, kennot on jaettu kahteen osaan. Ensiökoje-tilassa, joka vie suurimman tilan, sijaitsevat kennon kuormaerottimet ja erottimet, varokekuormaerotin tai varoke-erotin sekä erottimen tanko-ohjain ja moottorihjain. Kennon yläosassa on kojekeskus, jossa sijaitsevat laitteet kennon ohjaukseen ja valvontaan. Kojekeskuksen kannessa on erottimen auki ja kiinni ohjaamista varten painonapit, virtamittauksen osoitin ja erottimen asennon osoitin. Kojekeskuksen laitteet toimivat 60 V tasajännitteellä. Alaosan oven yläpuolella on pieni pleksimuovilla suojattu aukko, josta nähdään kennon erottimet avaamatta ovea.

9.2.1 Kojeiston kennot ja erotinlaitteet

Kennot 1 ja 2 ovat jo aikaisemmin mainitut muuntajakennot, joissa ei ole ohjauskeskusta, mutta ovat leveämpiä kuin muut kennot ja ne ovat varustettu parillisilla ovilla.

Kennoissa 3 ja 4 on muuntajien varoke-erottimet, kennossa 3 on Muuntaja II varoke-erotin ja kennossa 4 Muuntajan I varoke-erotin. Kolmannen kennon varoke-erotin on malliltaan ENG 24kV/400A NEBB:n valmistama varoke-erotin. Kennossa 4 on myös NEBB:n valmistama varoke-erotin, mutta se on mallia H 245 aG-20/1250–50. Erottimissa on vain tanko-ohjaus, joten ne ovat vain paikalliskäyttöisiä. Kummastakaan varoke-erottimesta ei löydy teknistä dokumentointia, joten erottimien arvot on otettu Kemin Energian verkkotietojärjestelmästä ja arvot on esitetty taulukossa 9. Kennoon tuodaan virta kokoojakiskoilla yläkerasta. Varoke-erottimessa on ylhäältäpäin katsottuna ensin veitset, joita ohjataan tanko-ohjaimella. Veitsien alapuolella olevat punaiset sylinterit ovat suurjännitesulakkeet.

Taulukko 9. Kennojen 3 ja 4 varoke-erottimien sähköiset tiedot

Kenno 3: Varoke-erotin NEBB ENG 24kV/400A			
Nimellisjännite	24 kV	Nimellisvirta	400 A
Terminen oikosulkuvirta	16 kA	Dynaaminen oikosulkuvirta	40 kA
Kenno 4: Varoke-erotin NEBB H 245 aG-20/1250–50			
Nimellisjännite	24 kV	Nimellisvirta	400 A
Terminen oikosulkuvirta	16 kA	Dynaaminen oikosulkuvirta	40 kA

Kojeiston kenno 5 on kiskoerotinkenttä, jolla pystytään erottamaan kojeiston kennot 2, 3, 6, 7, 8 ja kennot 1, 4, 9, 10, 11, 12 toisistaan. Erottamiseen käytetään Strömbergin OJOK 20 K2 tyyppistä kuormaerotinta. Kuormaerotin löytyy myös kennoista 6, 7, 8, 9, 10 ja 11. Kennoissa 6 – 11 on kuormaerottimen lisäksi myös erotin. Kennoissa 9 ja 10 löytyy Strömbergin OJEN 3-20/400 erotin ja kennoista 6, 7, 8 ja 11 Strömbergin OJON 3-20/400 erotin. Erottimien ja kuormaerottimien sähköiset tiedot on katsottu Kemin Energian verkkotietojärjestelmästä, ja ne on kirjattu taulukkoon 10.

Taulukko 10. Kennojen 6 - 11 erottimet ja kuormaerottimet

Kenno 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11: Kuormaerotin Strömberg OJOK 20 K2			
Nimellisjännite	20 kV	Nimellisvirta	630 A
Terminen oikosulkuvirta	20 kA	Dynaaminen oikosulkuvirta	50 kA
Kenno 9, 10: Erotin Strömberg OJON 3-20/400			
Nimellisjännite	20 kV	Nimellisvirta	400 A
Terminen oikosulkuvirta	10 kA	Dynaaminen oikosulkuvirta	25 kA
Kenno 6, 7, 8, 11: Erotin Strömberg OJEN 3-20/400			
Nimellisjännite	20 kV	Nimellisvirta	400 A
Terminen oikosulkuvirta	10 kA	Dynaaminen oikosulkuvirta	25 kA

Taulukossa 10 mainittujen erottimien kytkentä voidaan suorittaa vain paikallisesti tanko-ohjauksella. Kuormaerottimissa on moottoriohjain, jolla kuormaerotin voidaan ohjata kiinni ja auki. Paikallinen ohjaus onnistuu jokaisen kennon koje-kaapin ovessa olevista painonapeista.

Viimeisessä kennossa numero 12 on asennettuna varokekuormaerotin, joka on Strömbergin valmistama OJOM 24 U3 mallinen erotin. Varokekuormaerottimen nimellisjännite ja -virta ovat 24 kV ja 630 A sekä terminen ja dynaaminen oikosulkuvirta ovat 20 kA ja 50 kA.

9.2.2 Kojeiston keskijännitekaapelit

Kaapelit tulevat muuntoaseman alakerran lattiaan tehtyyn kaapelikanavaan, josta ne nousevat kojeiston kennoihin. Pirtin muuntoasemalle tulee viisi keskijännitekaapelia. Kaapelit on kytketty kennoihin 6, 7, 9, 10 ja 11. Kennoihin tulevien kaapeleiden tyyppi, suurin sallittu kuormitusvirta, 1 sekunnin terminen oikosulkuvirta, pituus ja asennusvuosi on katsottu Kemin Energian verkkotietojärjestelmästä ja ne on kirjattu taulukkoon 11; kaapeleiden pituus taulukossa on matka siihen, kunnes kaapelityyppi vaihtuu tai kaapeli kytkeytyy eri muunta-
moon.

Taulukko 11. Pirtin muuntoaseman keskijännitekaapelit

Kenno	Tyyppi	Kuormitettavuus [A]	1 s terminen oikosulkuvirta [kA]	Pituus [m]	Asennusvuosi
6	AHXAMK-W 3x120	265	11,4	283,4	1994
7	APYAKMM 3x120	225	12,5	243,6	1981
9	AHXAMK-W 3x120	265	11,4	84,4	1994
10	AHXAMK-W 3x120	265	11,4	76,3	1994
11	APYAKMM 3x70	170	7,3	267,8	1970

Kennoon 11 tuleva kaapeli on aseman syöttökaapeli Syväkankaan sähköasemalta ja vanhin kaapeli. Johdon suojana toimii Syväkankaan sähköasemalla ABB:n REF 543 kennoterminaali, joka hoitaa ylivirta- ja maasulkureleen virkaa. Kennoterminaalin ylivirta asettelu on tehty seuraavalla tavalla:

- $I_{>}$ portaan virtarajaksi on aseteltu 350 A ja toiminta hidastus 0,4 s.
- $I_{>>}$ portaan virtaraja on 2,5 kA ja toiminta hidastus 0,05 s.

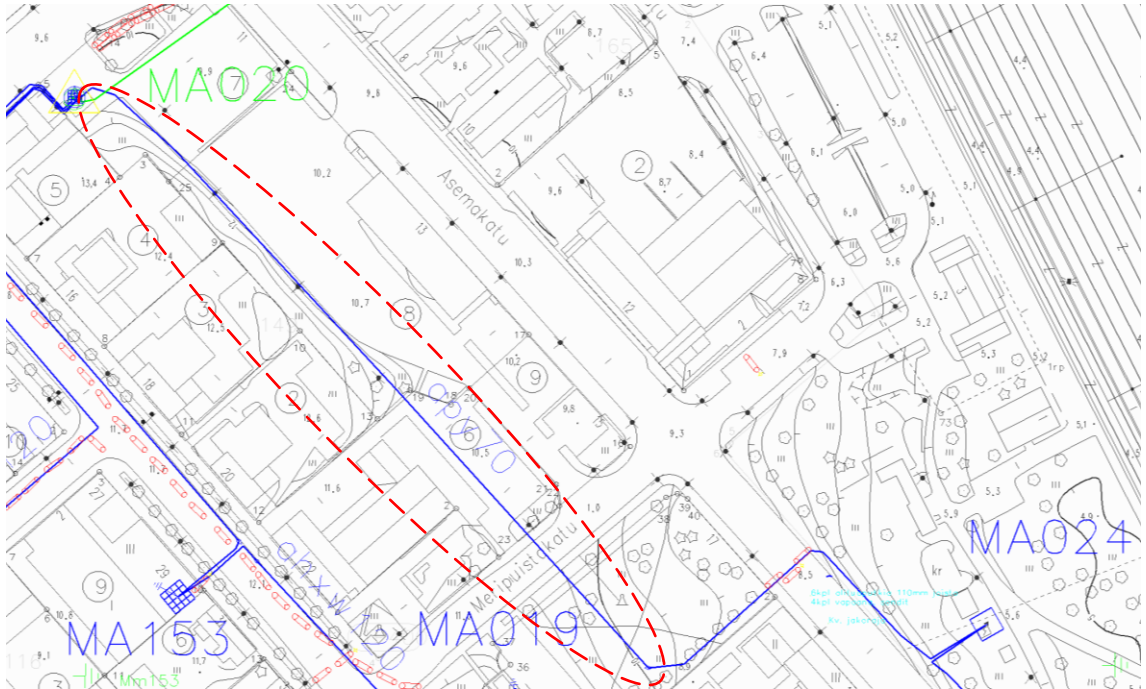
Kennoterminaalin ja katkaisijan yhteiseksi toiminta-ajaksi on määritetty 0,05 sekuntia, jolloin toiminta-ajaksi tulevat kokonaisuudessaan $I_{>}$ portaalle 0,45 sekuntia ja $I_{>>}$ portaalle 0,1 sekuntia. Maasulkua varten on määritetty eri arvot sammutetulle ja maasta erotetulle verkolle. Kemin Energian keskijänniteverkkoa käytetään sammutettuna verkkona ja sen rajat ovat seuraavat:

- $I_{0>}$ portaan virtaraja on 2 A ja toiminta-aika 0,8 s.
- U_0 portaan raja on 10 %.

Kun sammutuskuristin ei ole käytössä on maadoitusverkko tällöin maasta erotettu, releen asettelut ovat silloin seuraavat:

- $I_{0>}$ portaan virtaraja on 2 A ja toiminta-aika 0,2 s.
- U_0 portaan raja on 5 %.

Kennon 11 kaapeli APYAKMM 3x70 (kuviossa 10 merkittynä oleva osuus) tul-
laan vaihtamaan tämän saneerauksen yhteydessä uuteen kaapeliin. Kemin
Energialla on hiljattain päätetty, että uusittavat keskijännitekaapelit korvataan
AHXAMK-W 3x150 kaapelilla.



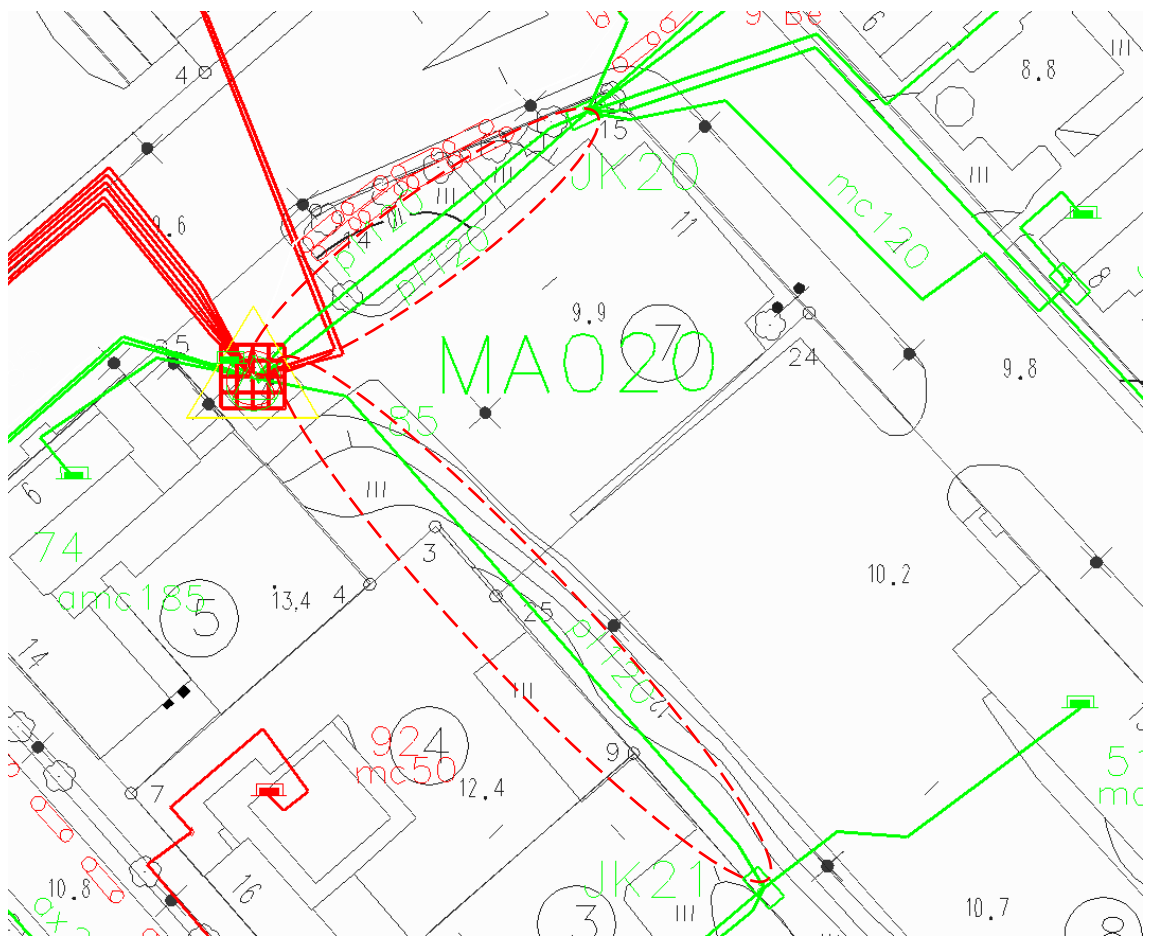
Kuvio 10. Korvattava keskijännitekaapeli

9.3 Pirtin pienjännitekeskus

Strömbergin valmistama pienjännitekeskus sijaitsee aseman alakerrassa, vastapäätä jakelumuuntajia. Keskus on tyypiltään MFL, ja sen kiskosto on mitoitettu 1000 A virralle. Mitoiltaan lattiaan kiinnitetty keskus on 4,85 metriä leveä, 0,55 metriä syvä ja 2,3 metriä korkea. Rakenteeltaan se on kaappikeskus, jossa kaapit ovat vierekkäin ja ne on suojattu ovella. Jokaisessa kaapissa on joko 3 tai 6 kaapelilähtöä, jotka on suojattu varoke-erottimilla. Varoke-erottimia löytyy kojeistosta kahdenlaisia OEPK 3 250 A1 ja OEPK 3 400 A2, kummatkin Strömbergin valmistamia.

Keskus on jaettu kahtia, sen keskellä olevalla kolminapaisella kiskoerottimella, jos yksi muuntajista vikaantuu saadaan toiselle keskukselle nopeasti sähköt takaisin. Keskuksen puolikkaat on nimetty verkkotietojärjestelmässä MA20_PK20/I ja MA20_PK20/II. Keskusta PK20/I syöttää muuntaja M128 ja PK20/II syöttää M127. Muuntajien ja keskuksien välisinä erotinlaitteina käytetään pääkatkaisijoita. Pienjännitekeskuksesta syötetään aseman läheisyydessä olevia kiinteistöjä, kaapelinjakokaappeja, katuvaloja ja aseman omia laitteita.

Keskuksessa on yhteensä 20 varoke-erotinta, 11 niistä on keskuksessa MA20_PK20/I ja loput 9 keskuksessa MA20_PK20/II. Liitteen 4 taulukossa 30 on lueteltu keskuksien PK20/I ja PK20/II ryhmät, niistä lähtevät kaapelit, kaapelien osoite, ryhmän sulake, kaapelien pituus ja asennusvuosi. Ryhmä 10 on varattu aseman omaan käyttöön ja ryhmät 7, 15, 18 ja 20 eivät ole käytössä. Useat syötöt ovat rinnansyöttöjä. Tämän saneerauksen yhteydessä vaihdettavat pienjännitekaapelit ovat keskuksen MA20_PK20/I ryhmien 12, 13 ja 14 PLKVJ 3x120+70 kaapelit (kuvio 11). Kaapelit syöttävät kaapelinjakokaappeja joista lähtee liittymisjohdot kuluttajille, kaapelit korvataan AXMK 4x185 kaapelilla.



Kuvio 11. Vaihdettavat pienjännitekaapelit

9.4 Pirtin asema-automaatio

Pirtin kaukokäyttölaitteisto on rakennettu ABB:n RTU500-sarjan asema-automaatiolaitteistolla. Laitteistokokonaisuudessa on pääyksikön lisäksi 5 laa-

jennusmoduulia. Pääyksikkö on malliltaan RTU560CIG10, yksikkö I/O liitännät ovat seuraavat: 16 digitaalisella tulolla, 8 digitaalista lähtöä ja 8 analogista tuloa. Järjestelmää on laajennettu 211BID51, 211BOD52 ja 211AID50 I/O-moduuleilla siten, että siinä on 16 digitaalista lisälähtöä, 8 digitaalista relelähtöä ja 6 analogia tuloa. I/O moduulit on liitetty pääyksikköön erillisellä 211AIDD52 adapterikortilla. Muuntoaseman ulkopuoliseen verkkoliikenteeseen tarvittavalla 560NMD01 Ethernet-moduulilla luodaan yhteys SCADA-järjestelmään käyttäen SDSL-käyttöliittymää. Asema-automaation virtalähteenä toimii aseman akusto, joka takaa mahdollisuuden tarkkailla ja ohjata aseman erottimia sähköjakelun häiriötilanteissa.

Asema-automaation laitteita ei uusita tämän saneerauksen yhteydessä, mutta tarvittaessa järjestelmää voidaan laajentaa lisäkorteilla vastaamaan uuden kojeiston tarpeita.

10 UUDEN JAKELUMUUNTAJAN MITOITTAMINEN

Uuden muuntajan mitoittamisen pohjana käytetään nykyisten muuntajan kuormitusta. Pirtin muuntajien nykyistä kuormitusta on arvioitu luvussa 9.1.1, jossa tieto on kerätty SCADA järjestelmän mittauksista sekä verkkotietojärjestelmän laskemat tehot. Päällimmäisenä kysymyksenä muuntajan mitoituksessa on, että uusitaanko muuntajat yhdellä vai kahdella muuntajalla. Parasta ratkaisua etsitään muuntajan hankinta- ja ylläpitokustannuksista.

Jakelumuuntajien pitoaika on pitkä, 40 vuotta, minkä vuoksi täytyy arvioida kuinka paljon kuormitus kasvaa muuntajan pitoaikana. Kemin keskusta-alue on ns. rakennettu valmiiksi. Uusia rakennuksia ei rakenneta. Kuormitus todennäköisesti pysyy samana tai laskee tulevina vuosikymmeninä. Kemin kunnan vuonna 2012 julkaisemassa väestöennusteessa ennustetaan, että Kemin asukasluku laskee 5,2 prosenttia vuodesta 2011 vuoteen 2040 mennessä. Aseman läheisyyteen ei ole kaavoitettu uusia rakennuksia tai liiketiloja. Tämä seikka huomioon ottaen arvioidaan kuormituksen pysyvän nykyisellään tulevaisuudessa, eli kuormituksen kasvu on 0 prosenttia vuodessa 40 vuoden aikana. (Kemin väestöennuste 2012 – 2040).

Selvitetään kolmen eri muuntajan nimellistehot ja valitaan nimellistehoa lähin vastaava jakelumuuntaja. Kuormituksen kasvuksi määriteltiin 0 prosenttia vuodessa, ylikuormituskertoimeksi taulukosta 3 valitaan 1,0. Pirtin muuntoasema sijaitsee keskusta-alueella, ja muuntajat on sijoitettu rakennukseen, jolloin se voidaan katsoa kiinteistömuuntamoksi. Verkon tehokertoimena käytetään 0,95 verkkotietojärjestelmän mukaan. Yhtälöllä 20 saadaan muuntajan nimellisteho selville. Taulukkoon 12 on kirjattu jokaisen muuntopiirin maksimiteho sekä laskettu nimellisteho.

Taulukko 12. Muuntopiirien maksimitehot ja nimellistehot

Muuntaja	P_{\max} [kW]	S_n [kVA]
M128	265	279
M127	394	415
M128 + M127	653	688

Muuntajan M128 korvaavan muuntajan voidaan käyttää 315 kVA:n tehoista muuntajaa ja M127 voidaan korvata 500 kVA:n muuntajalla. M128 ja M127 korvaamiseen sopii 800 kVA:n muuntaja.

10.1 Häviöiden kustannukset

Valittujen muuntajien tyhjäkäynti- ja kuormitushäviöt löytyvät liitteen 4 taulukossa 34. Kuormituksen ja jännitteen vaikutus häviötehoihin saadaan yhtälöillä 9 ja 10, tulokset ovat taulukossa 13.

Taulukko 13. Muuntajien suhteutetut tyhjäkäyntihäviö- ja kuormitushäviötehot

Teho [kVA]	P_0 [W]	P_k [W]
315	520	2 417
500	705	3 376
800	1020	5 030

Verkkotietojärjestelmästä saadaan muuntajilla M128 ja M127 olevat häviöhuipunkäyttöajat. Ne ovat muuntajalle M128 2961 tuntia ja muuntajalle M127 2274 tuntia. M128 ja M127 korvaavalle muuntajalle täytyy laskea häviöhuipunkäyttöaika yhtälöiden 14 ja 15 avulla, jolloin ajaksi saadaan 1891 tuntia.

Muuntajien pitoajan aikaiset häviökustannukset saadaan laskettua nykyarvoon kaavalla 5. Kuormitushäviöiden diskonttauskertoimeksi κ , yhtälöillä 4 ja 5, saadaan 2,5 prosentin korolla 25,10. Tyhjäkäyntihäviöiden diskonttauskertoimeksi κ_Y saadaan kaavoilla 6 ja 7 luku 25,10 koron ollessa 2,5 prosenttia. Edellä mainittujen parametrien avulla saadaan yhtälöllä 8 muuntajien elinkaaren aikaiset häviökustannukset, mitkä on esitetty taulukossa 14.

Taulukko 14. Muuntajien häviökustannukset

Muuntaja	$K_{h,m}$
315 kVA	8 705 €
500 kVA	9 091 €
800 kVA	13 710 €

Häviökustannuksia vertailtaessa täytyy 315 kVA:n ja 500 kVA:n muuntajien kustannukset summata, jolloin saadaan tulokseksi 17 796 €. Ero kahden ja yhden muuntajan ratkaisujen häviökustannuksissa on noin 4,1 k€, tämä puoltaa yhden muuntajan ratkaisua. Häviökustannukset eivät kuitenkaan ole kokonaiskustannus, suurempitehoiset muuntajat ovat kalliimpia kuin pienempitehoiset. Tämän vuoksi täytyy myös tarkastella, kuinka muuntajan hankinta vaikuttaa muuntajan pitoaikaiseen hintaan.

Liitteen 4 taulukossa 35 on Energiateollisuuden Verkostosuositus julkaisusta poimittuja muuntajan kustannuksia. Taulukon hinnat perustuvat Energiateollisuus ry:n vuonna 2010 tekemiin kyselyihin, joissa tiedusteltiin verkonhaltijoiden kustannustietoja. Lisäämällä muuntajien hankintakustannukset saadaan kahden muuntajan ratkaisun hinnaksi 34 516 € ja yhden muuntajan hinnaksi 27 040€, eroa ratkaisujen välillä on noin 7,5 k€. Yhden muuntajan ratkaisua on parempi vaihtoehto Pirtin muuntoasemalle näin suuren hintaeron vuoksi.

10.2 Eri muuntajavaihtoehtojen vertailu

Yhden muuntajan ratkaisusta kiinnostaa vertailla 1000 kVA:n ja 1250 kVA:n muuntajien kustannuksia 800 kVA:n muuntajan kustannuksiin. Jännitteen ja kuormituksen vaikutus muuntajien tyhjäkäynti- ja kuormitushäviöihin liitteen 4 taulukon 34 mukaisille arvoille on kirjattuna taulukossa 15. Muuntajien häviökustannukset sekä häviö- ja investointikustannuksien yhteiskustannus ovat myös kirjattuina taulukkoon 15.

Taulukko 15. 1000 kVA:n ja 1250 kVA:n muuntajien suhteutetut häviötehot sekä häviö- ja kokonaiskustannukset

Teho [kVA]	P_0 [W]	P_k [W]	$K_{h,m}$	$K_{h,m,inv}$
1000	1 240	3 787	13 395 €	28 545 €
1250	1 570	2 757	13 096 €	31 136 €

Vaikka suurempitehoisten muuntajien häviökustannukset ovat pienemmät 800 kVA:n muuntajaan verrattuna, nostavat niiden hankintakustannukset hintaa kor-

keammaksi. Näiden lukujen valossa 800 kVA:n muuntaja olisi taloudellisesti kannattavin sekä tekniset vaatimukset täyttävä ratkaisu Pirtin uudeksi jakelumuuntajaksi. Hintaero 800 kVA:n ja 1000 kVA:n muuntajan välillä ei ole suuri ja suurempi tehoinen muuntaja olisi kestävämpi ratkaisu, mikäli kuormitukset Pirtin muuntopiirissä kasvavat arvioinnista huolimatta. 1000 kVA:n jakelumuuntaja kykenisi vikatilanteissa syöttämään suurempaa pienjänniteverkkoa ja mahdollistaisi pienjänniteverkossa pysyvät jakorajamuutokset.

Edellisten lukujen perusteella valitaan Pirtin uuden jakelumuuntajan tehoksi 1000 kVA:a, jonka muuntosuhde on nykyisin käytetty 20,5/0,41 kV Dyn11 kytkennällä. Nestejäähdytteisen muuntajan rakenteeksi valitaan hermeettisesti suljettu rakenne sen huoltovapauden takia. Muuntajan suojalaitteena toimivat keskijännitesulakkeet, jotka sijoitetaan keskijännitekojeistoon. Lisäksi muuntajaan tulee öljyn lämpötilanmittaus kannelle. Muuntaja varustetaan pistokeläpivienneillä, koska tämä mahdollistaa kosketussuojattujen pistokkeiden käytön, jolloin muuntajaa ei tarvitse koteloida kosketussuojauksen saavuttamiseksi.

Muuntaja sijoitetaan samaan paikkaan, missä vanhat muuntajat ovat. Toinen öljymontuista täytetään, jotta saadaan lisä tilaa keskijännitekojeistolle. Muuntajalle suunniteltu paikkavaraus asemalla on merkitty liitteen 8 layout-kuvaan. Muuntajalle on kuvassa varattu 2500mm leveyssuunnassa ja 1400mm syvyys-suunnassa.

11 KESKIJÄNNITEKOJEISTON MITOITTAMINEN

Pirtin ahtauden vuoksi uudeksi keskijännitekojeistoksi haluttiin SF₆-eristeinen kojeisto niiden pienemmän tilantarpeen vuoksi. Uuteen kojeistoon täytyy määritellä sähkötekniset ominaisuudet, tarvittavien kenttien määrä, tyypit ja lisälaitteet sekä kojeiston sijoittelu ja tilantarve.

11.1 Sähkötekniset ominaisuudet

Merkittävimmät sähkötekniset ominaisuudet ovat nimellisjännite ja -virta sekä oikosulkukestoisuus. Nykyisin kojeistovalmistajat rakentavat kojeistot vastamaan IEC-standardissa määritellyjä jännite- ja virtakestoisuuksia. Tämä helpottaa oikean kojeiston valintaa ja tekee vakiorakenteisista kojeistoista halvempia. Keskijännitekojeistoissa nimellisjännitteet kojeistorakenteille ovat yleensä seuraavat: 7 kV, 12 kV, 15 kV, 17,5 kV ja 24 kV. Riippuen valittavasta kenttätyyppistä nimellisvirrat ovat pääsääntöisesti 200 A:sta 630 A:n. On myös mahdollista, että kojeisto valmistetaan tilaajan haluamien ominaisuuksien mukaan, mutta kojeisto on tällöin suurempi investointi kuin vakiorakenteinen kojeisto.

Kojeiston nimellisjännitteeksi valitaan 24 kV:n 50 Hz taajuudella, koska Kemin Energian keskijänniteverkon käyttöjännite on 20,5 kV:a ja nimellistaajuus 50 Hz. Nimellisvirtaa mietittäessä määrääväksi tekijäksi nousee kaapeleiden kuormitettavuus, joka on riippuen poikkipinta-alasta sadasta muutamaan sataan ampeeria. Nämä asiat ja kojeistovalmistajien valmiit rakenteet huomioon ottaen, kojeiston nimellisvirraksi valikoituu 630 A.

11.2 Kojeiston oikosulkukestoisuus

Keskijännitekojeiston mitoittamista varten selvitetään, kuinka suuret oikosulkuvirrat vaikuttavat kojeiston kiskostoon. Pirttiä voidaan syöttää kolmella eri päämuuntajalla ja kahdelta eri sähköasemalta, kun selvitetään oikosulkuvirtojen suuruus eri kytkentätilanteissa. Aluksi selvitetään eri verkon osien impedanssit

ja lopuksi lasketaan eri oikosulkuvirrat. Esimerkki keskijänniteverkon impedanssien selvittämisestä ja oikosulkuvirtojen laskemisesta on esitetty liitteessä 6.

11.2.1 Taustaverkon impedanssi

Kemin Energian verkkotietojärjestelmästä löytyy vuonna 2013 Fingrid Oyj:ltä saadut taustaverkon impedanssit ja oikosulkuvirrat Syväkankaan ja Karihaaran sähköasemille. Liitteen 4 taulukossa 31 olevat impedanssiarvot ovat 110 kV jännitteen tasolla olevia arvoja. Arvoja on useita, koska taustaverkossa esiintyy erilaisia kytkentätilanteita, joilla on vaikutus keskijänniteverkon oikosulun suuruuteen; suurimman osan ajasta verkossa vallitsee kuitenkin perustilanteen mukaiset arvot. Jotta arvoja voitaisiin käyttää, redusoidaan ne päämuuntajan yli nimellisjännitteelle 21 kV:n. Arvojen redusoimiseen on käytetty kaavaa 27 ja tulokset on esitetty taulukossa 16.

Taulukko 16. Sähköasemien taustaverkon impedanssit 21 kV:n tasolle redusoituna

Syväkankaan sähköasema	Karihaaran sähköasema
Normaali minimitalanne $Z_k' = (0,1093+j0,4082)\Omega$	Normaali minimitalanne $Z_k' = (0,0767+j0,3035)\Omega$
Perustilanne $Z_k' = (0,0583+j0,2551)\Omega$	Perustilanne $Z_k' = (0,0334+j0,1734)\Omega$
Normaali maksimitilanne $Z_k'' = (0,0510+j0,2223)\Omega$	Normaali maksimitilanne $Z_k'' = (0,0300+j0,1434)\Omega$

11.2.2 Päämuuntajien impedanssit

Syväkankaan sähköasemalla keskijänniteverkkoa syöttää kaksi päämuuntajaa SPM1 ja SPM2, Karihaaran sähköasemalla on yksi verkkoa syöttävä päämuuntaja KAH_KPM 1.1. Päämuuntajien suhteelliset oikosulkuresistanssit ja -impedanssit on kirjattu liitteen 4 taulukkoon 32. Muuntajista on annettu useita eri impedanssiarvoja; näillä huomioidaan muuntajan käämikytkimen asentojen

vaikutusta impedanssin suuruuteen. Käyttäen kaavoja 16 ja 18 voidaan laskea suhteellisista arvoista oikosulkuimpedanssi ja -resistanssi 21 kV jännitteen tasolla olevat arvot. Oikosulkuimpedanssin ja -resistanssi, avulla voidaan selvittää oikosulkureaktanssi kaavalla 19, päämuuntajien oikosulkuimpedanssit on esitetty taulukossa 17.

Taulukko 17. Päämuuntajien impedanssit laskettuna 21 kV:n tasolle

Muuntaja	$Z'_{M110(min)} [\Omega]$	$Z'_{M110(kesk)} [\Omega]$	$Z'_{M110(max)} [\Omega]$
SPM1	0,0759 + j1,8507	0,0776 + j1,7270	0,1023 + j1,7080
SPM2	0,0773 + j1,9124	0,0811 + j1,8381	0,0811 + j1,6350
KAH_KPM 1.1	0,0782 + j1,7340	0,0790 + j1,7375	0,1021 + j1,8883

11.2.3 Keskijännitekaapelien impedanssit

Syväkankaan ja Pirtin välisessä kaapeliyhteydessä on käytetty kolme eri kaapelityyppiä joista yksi vaihdetaan tämän saneerauksen yhteydessä. Karihaaran ja Pirtin välissä on käytetty kahta eri kaapelityyppiä. Kaapelien vaiheresistanssit ja -reaktanssit kilometriä kohden on esitetty taulukossa 18. Lisäksi taulukkoon on kirjattu, kuinka monta kilometriä kutakin kaapeli tyyppiä on johtoreiteillä.

Taulukko 18. Keskijännitekaapelien vaiheresistanssi ja -reaktanssi arvot sekä johto pituudet (Verkostosuositus SA5:94, 38).

Kaapeli	Vaiheresistanssi 40 °C [Ω/km]	Vaihereaktanssi 20 °C [Ω/km]	Syväkangas – Pirtti [km]	Karihaara – Pirtti [km]
AHXAMK-W 3x120	0,277	0,129	0,8766	1,8485
APYAKMM 3x120	0,283	0,115	1,3690	1,5785
AHXAMK-W 3x150	0,247	0,116	0,2682	0

AHXAMK-W 3x150 kaapelin vastusarvot selvitettiin erään kaapelivalmistajan kaapelitietojen perusteella. Muiden kaapeleiden tiedot on kerätty verkostosuosituksista. Kaapeliyhteyksien impedanssit on laskettu kaavalla 22, ja kaapeliyhteyksien kokonaisimpedanssit on esitetty taulukossa 19.

Taulukko 19. Keskijännite kaapeliyhteyksien kokonaisimpedanssit

Kaapeliyhteys	Impedanssi Z_j [Ω]
Syväkangas – Pirtti	$0,6965 + j0,3016$
Karihaara – Pirtti	$0,9588 + j0,4200$

11.2.4 Kokonaisimpedanssit

Oikosulkupiirin kokonaisimpedanssit eri verkon kytkentätilanteissa on summattu ja kirjattu taulukkoon 20.

Taulukko 20. Oikosulkupiirin kokonaisimpedanssit

Muuntaja	Z_{\min} [Ω]	Z_{perus} [Ω]	Z_{\max} [Ω]
SPM1	$0,8817 + j2,5605$	$0,8324 + j2,2837$	$0,8498 + j2,2319$
SPM2	$0,8831 + j2,6222$	$0,8359 + j2,3948$	$0,8286 + j2,1589$
KAH_KPM 1.1	$1,1137 + j2,4575$	$1,0712 + j2,3309$	$1,0909 + j2,4517$

11.2.5 Oikosulkuvirrat

Pirtin keskijännitekojeiston virtakiskoihin vaikuttava suurin kolmivaiheinen oikosulkuvirta ja kaksivaiheinen oikosulkuvirta perustilanteessa on laskettu kaavoilla 28 ja 29. Oikosulkuvirrat on esitetty taulukossa 21. Sysäysoikosulkuvirta lasketaan kaavalla 31, oikosulkuvirtana käytetään taulukossa 21 olevia suurimpia kolmivaiheisia oikosulkuvirtoja. Resistanssin ja reaktanssin suhteesta selvitetyn sysäyskertoimen sijasta käytetään lukua 1,8 koska se on vakiintunut käytäntö Kemin Energialla. Verkon eri kytkentätilanteissa syntyvät sysäysoikosulkuvirrat on kirjattuna taulukkoon 21.

Taulukko 21. Pirtin keskijännitekojeistoon vaikuttavat vikavirrat

Syöttö	I_{k3} [A]	I_{k2} [A]	i_p [A]
SPM1	5 487	4 752	13 968
SPM2	5 258	4 554	13 385
KAH_KPM 1.1	5 199	4 502	13 235

Voidaan määritellä, että kojeiston tulee kestää noin 14 kA:n sysäysoikosulkuvirran aiheuttamat vaikutukset. Koska Vakiorakenteiset kojeistot on mitoitettu kestämään 50 kA:n tai 63 kA:n sysäysoikosulkuvirtoja, todetaan uuden keskijännitekojeiston kestävän oikosulun dynaamiset vaikutukset.

Kojeistovalmistajat ilmoittavat termisen oikosulkuvirran 1 tai 3 sekunnin aikana. Kemin Energian keskijänniteverkossa oikosulku kestää 0,45 tai 0,1 sekuntia riippuen virran suuruudesta. Laskettu oikosulkuvirta voidaan muuntaa vertailukelpoiseksi ekvivalenttioikosulkuvirraksi kaavalla 33; tulokset ovat esillä taulukossa 22. Arvot on laskettu suurimman kolmivaiheisen oikosulkuvirran mukaan, jolloin oikosulunkesto aika on 0,1 sekuntia. Kojeistovalmistajien 1 ja 3 sekunnin termiset oikosulkuvirrat ovat 20 kA:sta 25 kA:n. Näiden ja taulukon 22 arvojen valossa voidaan olla varmoja, että vakiorakenteinen keskijännitekojeisto kestää termisen oikosulun vaikutukset.

Taulukko 22. Keskijännitekojeiston ekvivalenttiset oikosulkuvirrat

Kojeiston koestusaika	Ekvivalenttivirta [A]
1 s	1735
3 s	1002

11.3 Kenttien määrittely

Pirttiin tulevia kaapeleita varten tarvitaan rengassyöttökenttiä kojeistoon 6 kappaletta, joista 5 tulee nykyisille kaapelilla ja yksi jää varalle. Kenttien kytkinlaitteina toimivat kolmiasentoiset moottoriohjatut kuormaerottimet, joiden erotuskyky on 630 A. Tämän lisäksi kytkinlaitteesta löytyy maadoituskytkin. Lisälaitteiksi jokaiseen rengassyöttökenttään laitetaan kapasitiivinen jännitteenilmaisins, maa- ja oikosulunilmaisins sekä yksivaiheinen virtamuuntaja. Kapasitiivinen jännitteenilmaisins on helppo ja turvallinen tapa todeta kojeiston jännitteettömyys. Vianilmaisins lähettää tiedon maa- tai oikosulun tapahtumisesta kaukokäyttöjärjestelmään, tämä nopeuttaa vianhakua verkossa. Virtamuuntajaksi valitaan yksivaiheinen mittamuuntaja joka asennetaan L2 vaiheeseen. Virtamuuntajan

muuntosuhteeksi määritellään 150A/5A, taakaksi 2,5 VA ja tarkkuusluokaksi riittää 0,5.

Jakelumuuntajaa varten tarvitaan yksi muuntajakenttä, jonka kytkinlaitteena toimii varokekuormaerotin, jossa on kolmiasentoisenkytkimen lisäksi varokkeet muuntajan suojana. Varokkeen koko määräytyy jännitteen ja muuntajan tehon perusteella. Valintaa helpottamaan varokevalmistajat ovat laatineet taulukon, josta oikea varoke koko voidaan valita. Liitteen 4 taulukossa 37 on ABB:n sulakkeen valintataulukko, josta valitaan 1000 kVA:n jakelumuuntajalle 20,5 kV:n jännitteellä 50 A sulake. Lisälaitteeksi kenttään otetaan kapasitiivinen jännitteenilmaisin.

Kojeiston jakamista varten kojeistoon otetaan kiskoerotinkenttä joka parantaa verkon käytettävyyttä lisäämällä verkon kytkentä mahdollisuuksia. Kytkinlaitteena toimii rengassyöttökentän tapaan kolmiasentoinen moottoriohjattu kuormaerotinkytkin. Lisälaitteita kenttään ei oteta.

Tässä luvussa määriteltyjen ominaisuuksien pohjalta on laadittu keskijännitekojeiston pääkaavio (liite 9), josta ilmenevät kenttävalinnat, niiden lisälaitteet, toivotut sähkötekniset ominaisuudet ja kenttien järjestys kojeistossa. Tilan rajallisuuden vuoksi tulee ottaa huomioon kojeiston mitat, erityisesti leveyssuunnassa. Kuten arvata saattaa, jokainen kojeistovalmistaja tarjoaa erilaisen rakenneratkaisun ja täten myös kojeiston mitat eroavat toisistaan. Tämän vuoksi määritellään kojeistolle suurimmat mitat, jotta se mahtuu jakelumuuntajan viereen. Liitteen 8 kuvaan on merkitty keskijännitekojeistolle suunniteltu paikka asemalla. Kojeiston suurimmat mitat ovat: leveys 4000mm, syvyys 1000mm ja korkeus 2000mm.

12 PIENJÄNNITEKESKUKSEN MITOITTAMINEN

Uuden pienjännitekeskuksen mitoittamisen pohjana käytetään nykyisen keskuksen ominaisuuksia. Jakelumuuntajan toisiokäämityksen ominaisuudet määrittelevät pienjännitekeskuksen rakenteen ja komponenttien sähkötekniset arvot. Pienjännitekeskuksesta syötetään aseman omia laitteita, asiakkaiden kulutuspisteitä ja aseman läheisyydessä olevaa kaupungin katuvalaistusta. Tarkasteluun otetaan myös keskuksen pienjännitekaapeleiden oikosulkusuojaukset.

12.1 Sähkötekniset ominaisuudet

Pienjännitekeskuksen nimellisvirta saadaan laskemalla jakelumuuntajan toisiokäämityksen nimellisvirta käyttäen tehon laskentakaavaa seuraavasti:

$$I_n = \frac{1000 \text{ kVA}}{\sqrt{3} \cdot 0,41 \text{ kV}} = 1408 \text{ A}$$

Tämän perusteella voidaan pienjännitekeskuksen nimellisvirraksi määritellä 1600 A, jakelumuuntajan muuntosuhteesta saadaan selville pj-keskuksen nimellisjännite, nykyisten jakelumuuntajien muuntosuhde on yleensä 20,5/0,41 kV 50 Hz taajuudella eli keskuksen nimellisjännitteeksi määritellään 410 voltia. Ennen oikosulkuvirtojen määrittämistä on selvítettävä runkokaapelien tyyppi muuntajan ja pienjännitekeskuksen välille.

Kemin Energia on pääsääntöisesti käyttänyt jakelumuuntajan ja pienjännitekeskuksen välisinä kaapeleina AXMK tyyppin yksijohdinkaapeleita. Yhden AXMK 1x300 kaapelin kuormitettavuus +90 °C:n lämpötilassa valmistajasta riippuen on noin 570 A. Kun käytetään kolmea yksijohdinkaapelia rinnan yhtä vaihetta kohden, kokonaisuudessaan yhdeksän kaapelia, kyetään siirtämään muuntajan nimellisvirta pienjännitekeskuksen kiskostoon. PEN-johtimen valinnassa on huomioitava, että sen on omattava vähintään puolet vaihejohtimen johtokyvystä. PEN-johtimen riittävä johtokyky saavutetaan kahdella yksijohdinkaapelilla, jolloin kaapelivalinnaksi tulee AXMK 3x(3x1x300)+2x300.

12.2 Keskuksen oikosulkukestoisuus

Pienjännitekeskuksen oikosulkukestoisuuden määrittely tehdään samalla tapaa kuin keskijännitekojeiston oikosulkukestoisuuden määrittely. Erona on, että jännitetaso on eri ja osa arvoista täytyy redusoida pienjännitteen tasolle. Esimerkit oikosulkuvirtojen määrittämisessä käytetyistä laskumenetelmistä löytyy liitteestä 6.

12.2.1 Oikosulkuimpedanssin määrittäminen

Taustaverkkona toimii nyt syöttävä keskijänniteverkko ja sen kokonaisimpedanssi eri kytkentätilanteissa redusoidaan 410 V tasolle. Redusointi suoritetaan kaavalla 27 ja tulokset ovat kirjattuina taulukossa 23.

Taulukko 23. Taustaverkon impedanssit redusoituna 410 V tasolle

Syöttö	$Z_{\min} [\Omega]$	$Z_{\text{perus}} [\Omega]$	$Z_{\max} [\Omega]$
SPM1	$0,00035 + j0,00102$	$0,00033 + j0,00091$	$0,00034 + j0,00089$
SPM2	$0,00035 + j0,00105$	$0,00033 + j0,00096$	$0,00033 + j0,00086$
KAH_KPM 1.1	$0,00045 + j0,00098$	$0,00043 + j0,00093$	$0,00043 + j0,00098$

1000 kVA:n muuntajan oikosulkuimpedanssi ja nollaimpedanssi saadaan liitteen 4 sivulla 2 olevasta taulukosta 32, arvot ovat:

- $Z_m = (0,0014 + j0,0095)\Omega$
- $Z_{m0} = (0,0018 + j0,0100)\Omega$

Syöttökaapeleiden sähköiset tiedot etsittiin kaapelivalmistajan tiedoista, jotka on esitetty taulukossa 24. Kaapelin resistanssiarvo on muunnettu +40 °C:n arvoihin kappaleen 7.3 taulukon 4 avulla ja reaktanssi on laskettu kaavalla 23. Syöttökaapeleiden pituudeksi muuntajan toisionavoista pienjännitekeskuksen syöttöyksikön napoihin arvioidaan olevan 15 metriä, jolloin kaapeleiden kokonaisimpedanssi on $Z_j = (0,000545 + j0,000705)\Omega$. Laskelmissa on otettu huomioon kaapeleiden rinnankytkentä.

Taulukko 24. AXMK 1x300 yksijohdinkaapelin sähköiset arvot

Vaiheresistanssi 90 °C [Ω/km]	Vaiheresistanssi 40 °C [Ω/km]	Vaiheinduktanssi ¹ [mH/km]	Vaihereaktanssi [Ω/km]
0,13	0,109	0,45	0,141
¹ Arvo on tilanteessa jossa 3 kaapeli ovat tasossa			

Oikosulkupiirin kokonaisimpedanssit saadaan summaamalla osaimpedanssit yhteen. Kokonaisimpedanssit verkon eri kytkentätilanteissa ovat esillä taulukossa 25.

Taulukko 25. Oikosulkupiirin kokonaisimpedanssi pienjännitekeskuksen kiskostossa

Syöttö	Z_{\min} [Ω]	Z_{perus} [Ω]	Z_{\max} [Ω]
SPM1	0,00230+j0,01123	0,00228+j0,01112	0,00229+j0,01110
SPM2	0,00230+j0,01126	0,00228+j0,01117	0,00228+j0,01107
KAH_KPM 1.1	0,00240+j0,01119	0,00238+j0,01114	0,00238+j0,01119

12.2.2 Oikosulkuvirrat

Pienjännitekeskukseen vaikuttavat oikosulkuvirrat ovat esitettyinä taulukossa 26. Kolmivaiheinen oikosulkuvirta saadaan yhtälöllä 28. Impedanssina on käytetty verkon perustilan arvoja. Kolmivaiheisen oikosulkuvirran avulla saadaan sysäys-oikosulkuvirta kaavasta 31, jossa sysäyskertoimenä käytettiin lukua 1,44.

Taulukko 26. Pienjännitekeskuksen kokoojakiskostossa vaikuttavat oikosulkuvirrat

Syöttö	I_{k3} [A]	i_p [A]
SPM1	20 853	42 467
SPM2	20 764	42 285
KAH_KPM 1.1	20 780	42 318

Oikosulun kesto aika keskuksen kiskostossa määräytyy keskijännitekojeistossa olevien sulakkeiden perusteella. Muuttamalla pienjännitetaso kolmivaiheinen oikosulkuvirta keskijännitteen tasolle voidaan sulakkeen toiminta-aika selvittää

sulakkeen toimintakäyrästä. Pienjännitekeskuksen suurin kolmivaiheinen oikosulkuvirta näkyy jakelumuuntajan ensiökäämityksessä noin 420 ampeerin suuruisena virtana. Liitteen 4 kuviossa 12 on keskijännitesulakkeiden toimintakäyrät sulakkeen koon mukaan. Käyristä nähdään, että 420 A virralla 50 A sulakkeen toiminta-aika on noin 0,3 sekuntia. Tästä voidaan määritellä termisen oikosulkuvirran 1 ja 3 sekunnin ajan kestävä ekvivalenttisivirran suuruudet taulukkoon 27.

Taulukko 27. Termisen oikosulkuvirran ekvivalenttivirrat

Oikosulun kesto	Ekvivalenttivirta [A]
1 s	11 422
3 s	6 594

Oikosulkuvirtojen pohjalta voidaan määritellä, että pienjännitekeskuksen tulee kestää 42,5 kA sysäysoikosulkuvirran aiheuttamat rasitukset ilman, että sen rakenne muuttuu. Keskuksen tulee myös kestää 11,5 kA:n 1 sekunnin tai 6,6 kA:n 3 sekunnin aikainen terminen oikosulkuvirta ilman, että se aiheuttaa muutoksia sen rakenteessa.

12.3 Pienjännitekeskuksen komponentit

Valittavia pienjännitekeskuksen komponentteja ovat muun muassa syöttöyksikkö, liittymisjohtojen varokkeet ja apulaitteet. Syöttöyksikön on kyettävä erottamaan ja muodostaman luotettava avausväli keskuksen ja muuntajan välille; tähän käytettyjä laitteita ovat kuormakytkimet ja kompaktikatkaisijat. Kuormakytkin on vaihtoehtoista yksinkertaisempi ollessaan vain kytkin, mutta kompaktikatkaisija tarjoaa enemmän toiminnollisuutta ylivirta- ja oikosulkulaukaisun muodossa. Syöttöyksikkö mitoitetaan pienjännitekeskuksen nimellisvirran ja -jännitteen mukaan. Lisäksi on huomioitava kytkimen käyttöluokitus, joka määritellään SFS-EN 60947-standardissa tasa- ja vaihtosähkön sekä resistiivisen ja induktiivisen kuormituksen mukaan. Pienjännitekeskuksen syöttölaitteeksi valitaan kolminapainen pääkytkin, jonka nimellisvirta on 1600 A ja nimellisjännite 410 V 50 Hz taajuudella, käyttöluokaksi määritellään AC-21, koska kuormitus

tulee olemaan resistiivistä kuormaa. Pääkytkimen käyttövipu asennetaan keskuksen oveen siten, ettei ovea voi avata, kun kytkin on kiinni-asennossa.

Keskuksesta lähteviä liittymis- ja runkojohtojen ylivirtasuojana valitaan käytettäväksi jonovarokeytkimiä, joissa käytetään oikosulkusuojana kahvasulakkeita. Keskuksen jonovarokeytkimien määrittelyssä käytetään apuna liitteen 4 taulukkoa 30, jossa on määritelty nykyiset suojaukset. Jonovarokeytkimiä otetaan keskuksen 19 kappaletta, joista 15 tulee käyttöön ja neljä jää varalle. 17 kappaletta jonovarokkeista otetaan 2 koon sulakkeita varten ja kaksi 00 koon sulakkeita varten. Jonovarokkeiden käyttöluokaksi määritellään pääkytkimen tavan AC-21.

Aseman omakäyttöä varten keskuksen asennetaan johdonsuojakatkaisijoita. Omakäytön laitteita ovat aseman lämmitykset, valaistus ja pistorasiat, jotka tarvitsevat myös vikavirtakytkimet. Varavoimaan tahdistusta varten pienjännitekeskuksen oveen asennetaan kolmivaiheinen voimapistorasias. Pienjännitekeskuksen asennettavia apulaitteita ovat, sähköenergian etäluennan keskitin sekä jännite- ja virtamittaukset. Etäluennan keskitin kerää asiakkaiden kulutustiedot ja lähettää ne keskitetysti Kemin Energian laskutusjärjestelmään. Virta- ja jännitemittaus suoritetaan keskuksen oveen asennettavalla mittausyksiköllä. Yksikkö tarvitsee virtamittausta varten virtamuuntajat, jotka asennetaan keskuksen kiskostoon. Virtamuuntajan muuntosuhteeksi valitaan 1500/5 A, taakaksi valitaan 2,5 VA ja tarkkuusluokaksi riittää 0,5 koska kyseessä ei ole energianmittaus.

Tarkastellaan runko- ja liittymiskaapeleiden oikosulku- ja ylikuormitussuojauksiensa mitoitus. Sähkönjakeluverkon maakaapeleille ei vaadita ylikuormitussuojaa, jos niistä ei ole ylikuormituksen takia vaaraa tai niiden lähellä ei ole palavaa materiaalia, kaapelit on kuitenkin suojattava oikosulun vaikutuksilta. Runkokaapeleille voidaan määritellä suositeltavat poikki-pintakohtaiset oikosulkusuojavarokkeet, jotka toimivat myös ylivirtasuojana estäen kaapeleita vaurioitumasta liiallisesta ylikuormasta, liittymiskaapeleille määriteltävät ylivirtasuojasulakkeet ovat yleensä yhtä varokekokoa alemmat. Energiategollisuus ry:n verkostosuositus julkaisussa SA2:08 on listattu suositeltavia sulakekokoja eri kaapelityypeille ja niiden käyttötarkoitukselle. Varokkeet on valittu kaupunki-

verkkoyhtiöiden pitkien käyttökokemusten perusteella. Liitteen 4 taulukossa 38 on esitelty työssä esillä olevien kaapeleiden suositeltuja sulakekokoja, joiden avulla oikean sulakekoon valinta on helppoa. (Verkostosuositus SA2:08, 17.)

Sähkönjakeluverkossa vika tulee yleensä kytkeä irti verkosta 5 sekunnissa. Jakeluverkon haltija voi harkintansa mukaan käyttää pitempiä poiskytkentäaikoja, kunhan liittymää koskevat vaatimukset toteutuvat. Kuluttajan pääsulakkeiden jälkeisessä verkossa ylivirtasuojan toiminta-aika ei saa kuitenkaan ylittää viittä sekuntia. Taulukon 28 perusteella voidaan mitoittaa jakeluverkossa käytettävien sulakkeiden pienin toimintavirta, kun vikaa ei kytkeä verkosta irti viidessä sekunnissa. (Verkostosuositus SA2:08, 20–21.)

Taulukko 28. Pienin oikosulkuvirta, jonka mukaan pienjänniteverkon oikosulkusuoja voidaan mitoittaa, kun vian poiskytkemisessä kestää enemmän kuin 5 sekuntia.

Ylivirtasuoja	Pienin 1-vaiheinen oikosulkuvirta jakeluverkossa
gG-tyypin sulake $I_N \leq 63 \text{ A}$	$2,5 \times I_N$
gG-tyypin sulake $I_N > 63 \text{ A}$	$3,0 \times I_N$

Vertaamalla nykyisten sulakkeiden kokoa taulukon 35 suositukseen, monien kaapelilähtöjen sulakkeita voitaisiin korottaa yhdellä portaalla. Uusittavien runkokaapeleiden, lähdöt 12, 13 ja 14, sulakkeiden kooksi sopisi taulukon mukaan 315 A varokkeet. Uuden pienjännitekeskuksen sulakkeiden koot on esitetty liitteen 10 keskuskaaviossa. Sulakkeiden riittävyys oikosulkusuojausjauksessa on myös selvitetty laskemalla jokaisen lähdön pienin yksivaiheinen oikosulkuvirta kaapelin päässä kaavalla 30. Esimerkkilasku tästä on liitteessä 7 ja tulokset taulukossa 29.

Taulukko 29. Pienjännitekeskuksen kaapelilähtöjen päässä olevat pienimmät yksivaiheiset oikosulkuvirrat

Ryhmä(t)	I_{k1}	Ryhmä(t)	I_{k1}
1 ja 2	6 796 A	11	4 098 A
3 ja 4	4 989 A	12 ja 13	8 012 A
5 ja 6	6 897 A	14	7 270 A
7 ja 8	8 171 A	15	19 368 A
9 ja 10	12 350 A		

Jokaisen kaapelilähdön päässä vaikuttava yksivaiheinen oikosulkuvirta ylittää vaaditun minimioikosulkuvirran. Tästä voidaan todeta, että keskukseen suunnitellut varokkeet ovat riittävät suojaamaan kaapeleita oikosulkuvirran vaikutuksilta.

12.4 Keskuksen rakenne

Pienjännitekeskuksen tyypiksi määritellään vapaasti seisova kennokeskus, jossa on varattu erilliset kojetilat pääkytkimelle, jonovarokeytkimille ja aseman omakäytönlaitteille. Jonovarokeytkimiä asennetaan yhteen kennoon niin monta kuin on mahdollista. Kytin- ja mittalaitteita tulee kyetä käyttämään ilman keskuksien ovien avaamista. Keskuksen syöttökaapelit, runko- ja liittymiskaapelit tuodaan keskukseen pohjasta ja aseman sisäinen kaapelointi hoidetaan keskuksen yläpuolelta. Keskuksen jakelujärjestelmänä käytetään TN-C-järjestelmää, sähköjakeluverkossa PE ja N erotetaan asiakkaan keskuksessa. Keskuksen tarkemmat määrittelyt ovat esitettynä liitteen 10 keskuskaaviossa. Pienjännitekeskuksen paikka asemalla on sama kuin vanhan keskuksen. Keskuksen maksimi leveydeksi määritellään 4000mm, maksimi syvyydeksi 1000mm ja maksimi korkeudeksi 2000mm.

13 POHDINTA

Sähkönjakelulla ja sen laadulla on suuri vaikutus meidän jokapäiväiseen elämään. Laadulla ja huolella tehty jakeluverkon suunnittelu ja -rakentaminen takaavat laadukkaan sähkönjakelun. Suunnittelijoilla tulee olla riittävä ymmärrys jakeluverkoista ja niiden suunnittelusta, jotta he voisivat tehdä oikeita valintoja verkkoyhtiöntalouden kuin myös kuluttajan kannalta. Sähkönjakelu on osin murroksessa uusien sähkön tuotantotapojen tullessa entistä enemmän kannattaviksi ja yleisimmiksi, tarvitaan tutkimusta ja uusia kokemuksia sille, kuinka sähkönjakelu tässä tulevaisuudessa muuttuvassa tilanteessa olisi paras hoitaa. Tämä tarkoittaa myös sitä, että suunnittelijoiden on pidettävä silmällä tulevaa kehitystä.

Muuntoaseman saneeraussuunnittelu oli aiheena vaikea ja laaja-alainen. Heikko teoriapohja vaatiikin suurempaa teoriaan tutustumista jakeluverkkoihin ja paitsutti työn teoriaosuuden melko suureksi. Teoriaan perehtyminen kuitenkin kannatti, sillä se kasvatti tietoutta sähköjakeluverkon rakenteesta ja suunnittelusta. Teorian soveltaminen käytännön suunnitteluun oli myös vaikeaa. Erityisesti laitteistorakenteiden valinta tuotti tuskaa, koska teoriasta ei niinkään ilmene alan käytännöt tämän suhteen. Käytäntöjen sisällyttäminen teoriaan on kuitenkin vaikeaa koska jokaisella jakeluverkkoyhtiöllä on omat käytännöt ja periaatteet siitä, kuinka verkkoa rakennetaan ja suunnitellaan. Apua Kemin Energian käytännön valintaperusteisiin löytyi toisesta samantyyppisestä muuntoaseman saneerausprojektista.

Työn mukana tutuksi tulivat myös sähköjakelussa käytetyt työkalut, erityisesti verkkotietojärjestelmä, jolla on helppo muodostaa yleiskuva jakeluverkosta. Suunnittelussa onkin paljon apua vtj:stä, koska sillä on helppo mallintaa verkonkuormitukset sekä muut sähköiset arvot. Verkkotietojärjestelmällä on myös tehokas työkalu verkon kunnossapidossa.

Työssä saatiin tuotettua perusteltu suunnittelu Pirtin aseman laitteiden uusimista varten sekä laadittu tekninen dokumentointi, jota voidaan käyttää tarjouskyselyissä. Työtä ei saatu suoritettua suunnittelussa aikataulussa, osin liian op-

timistisesti laaditun aikataulun takia ja osin työn suorittajan puutteellisten taitojen takia. Ongelmista huolimatta opinnäytetyön tavoitteet saavutettiin ja olen tyytyväinen lopputulokseen.

LÄHTEET

ABB 2000a. ABB:n TTT-käsikirja 7. Oikosulkusuojaus. Vaasa.

ABB 2000b. ABB:n TTT-käsikirja 19. Sähköjohtojen mitoittaminen. Vaasa.

ABB 2000c. ABB:n TTT-käsikirja 10. Mittaus-, ohjaus- ja suojauslaitteistot. Vaasa.

ABB 2000d. ABB:n TTT-käsikirja 8. Maasulkusuojaus. Vaasa.

ABB 2015. ABB Finland. Viitattu 26.2.2015
<<http://new.abb.com/fi>>

ABB 2006. Sähkämiehen taskukirja, 2006. Vaasa

Aura, L & Tonteri, A. 1996, Teoreettinen sähkötekniikka ja sähkökoneiden perusteet. Helsinki: WSOY.

Elovaara, J & Haarla, L. 2011a. Sähköverkot I. Helsinki: Otatieto

Elovaara, J & Haarla, L. 2011b. Sähköverkot II. Helsinki: Otatieto

Verkostosuositus RJ 19:06, 2006. Pylväserotinasemien ja muuntopiirien maadoitukset standardin SFS 6001 mukaan. Helsinki: Energialiitto ry.

Huotari, K & Partanen, J 1998. Teollisuusverkkojen oikosulkuvirtojen laskeminen. Lappeenranta: Lappeenrannan teknillinen korkeakoulu.

Lahti, K & Lassila, J & Lohjala, J & Kaipia, T & Kärnä, A & Partanen, J & Rissanen, A. 2005. 20/1/0,4 kV sähkönjakelujärjestelmä. Lappeenrannan teknillisen yliopiston tutkimusraportti. 2005.

Kemin Energia vuosikertomus 2013. Kemin Energia Oy:n julkaisu.

Kemin väestöennuste 2012 – 2040. Kemin kaupunki: Kehittämisen ja rahoitusosasto

Koreneff, G. 2010. Kuormituskäyrien hyödyntäminen tulevaisuudessa. VTT:n tutkimusraportti.

Lakervi, Erkki & Partanen, Jarmo 2008. Sähkönjakelutekniikka. Helsinki: Otatieto.

Martimo, Antero, 2012. Sähkönjakelutekniikan luentomoniste. Kemi.

Oy Nokia Ab Kaapelitehdas, 1975. Voimakaapelit ja asennusjohdot. Helsinki.

Nord Pool Spot 2015. Nord Pool Spot. Viitattu 9.2.2015.
<<http://www.nordpoolspot.com/>>

Siemens 2012. Power Engineering Guide, 7. painos, Viitattu 27.3.2014.
<http://www.energy.siemens.com/hq/pool/hq/energy-topics/power%20engineering%20guide/PEG_70.pdf>

Simonen, M. 2006. Sähköjakeluverkon suunnitteluperusteet. Lappeenrannan teknillinen yliopisto. Sähkötekniikan osasto. Diplomityö.

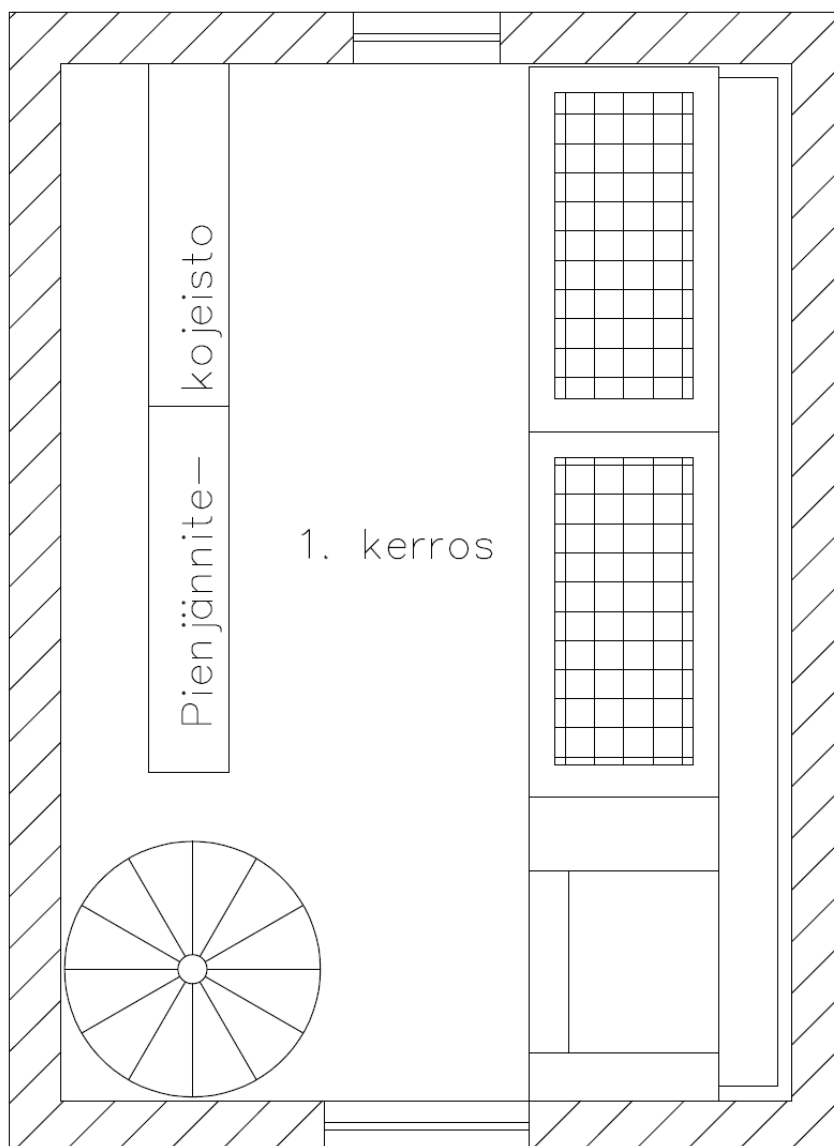
Suomen Pankin 2015. Suomen Pankki. Viitattu 13.1.2015
<<http://www.suomenpankki.fi>>

Sähkö- ja teleurakoitsijaliitto STUL ry 2007, Maadoituskirja, 5. painos, Espoo: Sähköinfo Oy

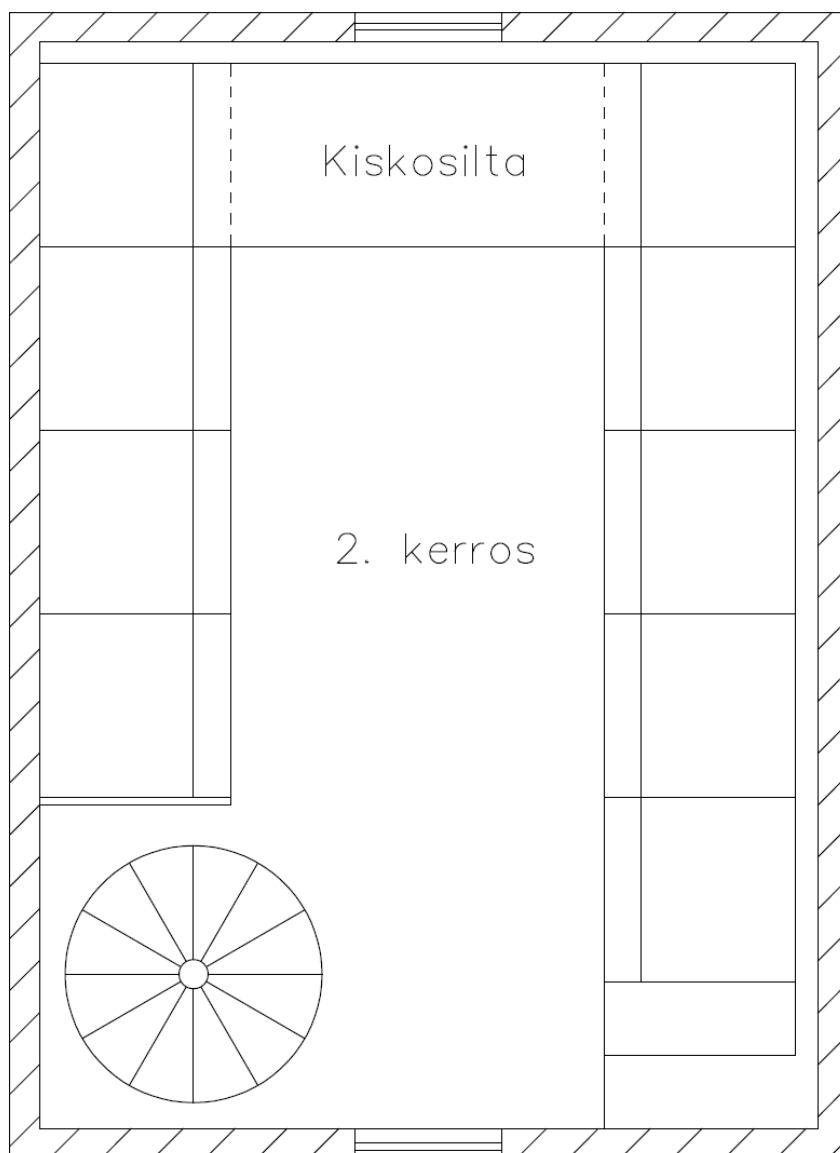
LIITTEET

- Liite 1. Pirtin pohjakuva
- Liite 2. Pirtin muuntamon verkkokaavio
- Liite 3. Kemin Pirtin muuntajien kuormitukset
- Liite 4. Työssä käytettäviä taulukoita
- Liite 5. Luvun 10 laskuesimerkit
- Liite 6. Luvun 11 laskuesimerkit
- Liite 7. Luvun 12 laskuesimerkit
- Liite 8. Pirtin layout-kuva
- Liite 9. Keskijännitekojeiston pääkaavio
- Liite 10. Pienjännitekeskuksen keskuskaavio

Pirtin muuntoaseman pohjakuva

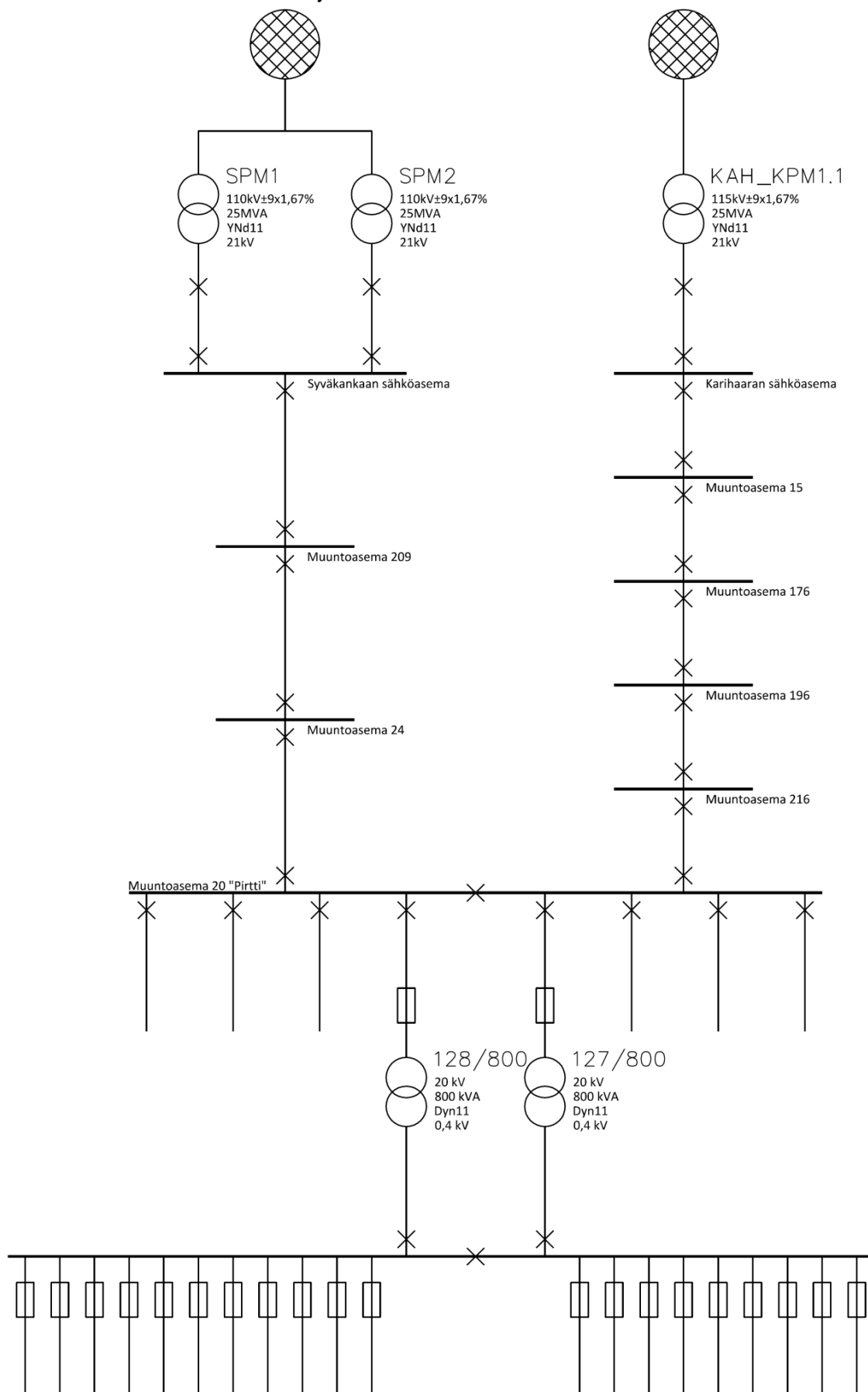


Tunn.	Lukum.	Muutos			Nimim.	Pvm
K.osa/Kylä	Kortti./Tila	Tontti	Rno	Viranomaisten merkintöjä		
SAUVOSAARI				POHJAKUVA		
SANEERAUSKOHDE				PIRTIN 1. KERROS		MK: 1:50
PIRTTI KAUPPAKATU 4 KEMI						
		Pvm	1.4.2015	Työnumero		Tilaajan numero
		Piirt.	M.Eironen			
		Suunn.				
		Tark.		Päristysnumero		Muutos
		Yht.his				
		Lehti	1/2	LIITE		1

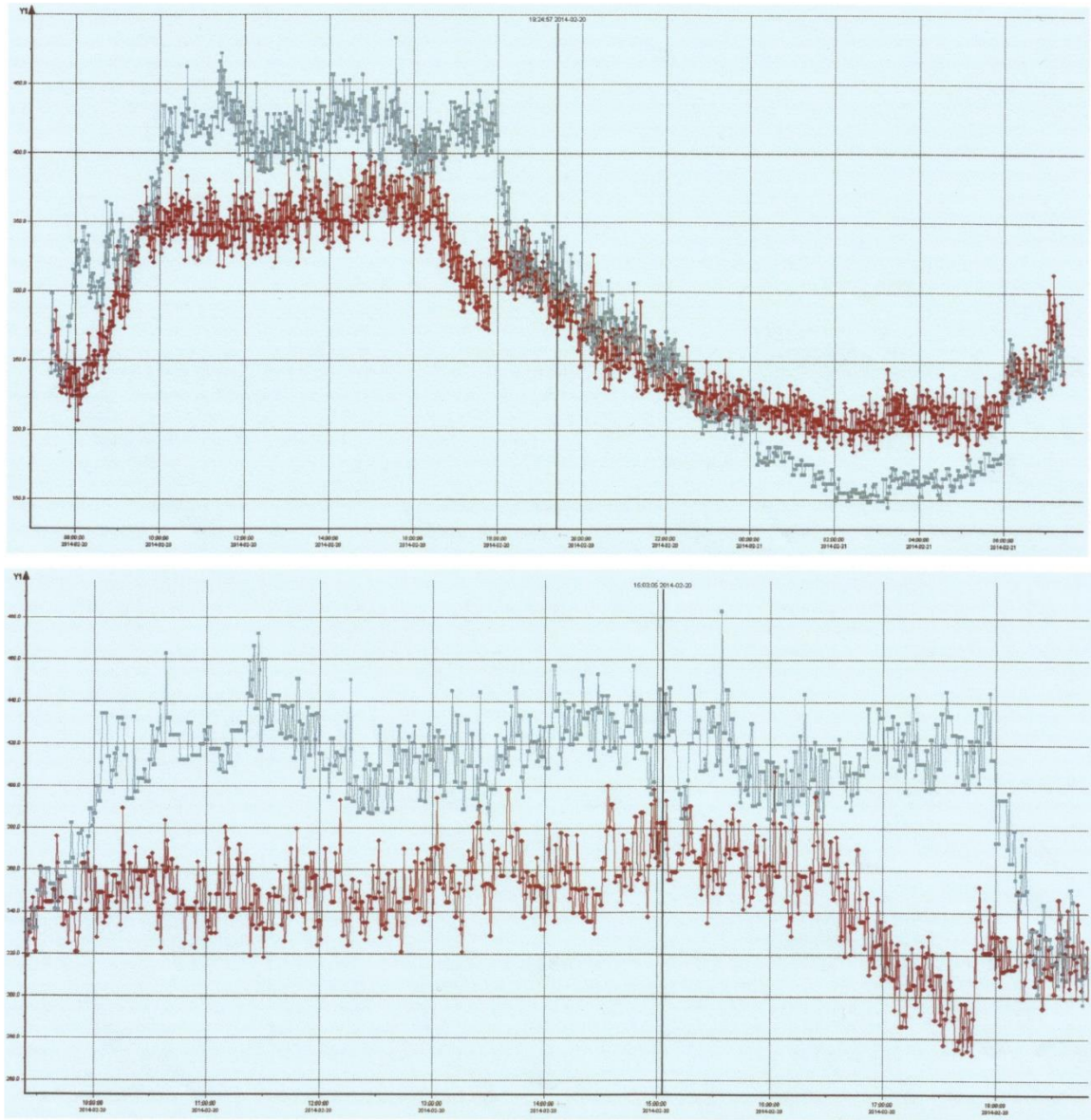


Turn. Lukum. Muutos				Nimim. Pvm	
Kosa/Kylä		Kortti/Tila	Tontti	Rno	Viranomaisen merkintä
SAUVOSAARI					
SANEERAUSKOHDE				POHJAKUVA	
PIRTTI KAUPPAKATU 7 KEMI				PIRTIN 2. KERROS	MK: 1:50
		Pvm	1.4.2015	Työnumero	Tilaajan numero
		Piirt.	M. Elironen		
		Suunn.			
		Tark.			
		Yht.hlö		Piirustusnumero	Muutos
		Lehti	2/2	LIITE	1

Pirtin muuntoaseman sähköjaku



Pirtin jakelumuuntajien vuorokauden mittausarvot.



Object Identifier	Object Text	Registration Time	Object Value	Hairline Value	Y-axis	Minimum Value	Maximum Value	Sum	Average
Pirtti	J04 Omk	2014-02-21 07:25:30	244.1786	296.9451	Y1	183.6299	407.3305	804935.3	279.4914
Pirtti	J03 Omk	2014-02-21 07:25:30	243.1715	296.6399	Y1	145.0240	483.5048	855058.4	296.8953

Työssä käytettäviä taulukoita ja käyrästöjä

Taulukko 30. Pirtin muuntoasemalta lähtevien pienjännitekaapelien tietoja Ke-
min Energian verkkotietojärjestelmästä

MA20_PK20/II						
Ryhmä		Kaapeli	Osoite	Sulake [A]/[A]	Pituus [m]	Asennus- vuosi
Rinnan	1	AMCMK 3x185+57	Kauppakatu 7	250/400	108,5	1983
	2	AMCMK 3x185+57	Kauppakatu 7	250/400	108,5	1983
Rinnan	3	AMCMK 3x240+72	Valtakatu 11 - 13	250/400	194,0	1988
	4	AMCMK 3x240+72	Valtakatu 11 - 13	250/400	194,0	1988
Rinnan	5	AMCMK 3x150+41	Kauppakatu 5	160/400	81,1	1971
	6	AMCMK 3x150+41	Kauppakatu 5	160/400	81,1	1971
7		-	Varalla	-	-	-
Rinnan	8	APAKM 3x185+185	JK59 Valtakatu	250/400	122,5	1970
	9	APAKM 3x185+185	JK59 Valtakatu	250/400	122,5	1970
MA20_PK20/I						
Ryhmä		Kaapeli	Osoite	Sulake [A]/[A]	Pituus [m]	Asennus- vuosi
10		-	Aseman oma käyttö	25/200	-	-
11		AXMK 4x185	Katuvalaistus	160/200	7,2	-
Rinnan	12	PLKVJ 3x120+70	JK20 Kauppakatu	250/400	56,0	1961
	13	PLKVJ 3x120+70	JK20 Kauppakatu	300/400	56,0	1961
14		PLKVJ 3x120+70	JK21 Linja-autoasema	300/400	123,0	1956
15		-	Varalla	-	-	-
Rinnan	16	AXMK 4x240	JK12 Kauppakatu	315/400	129,5	1994
	17	AXMK 4x240	JK12 Kauppakatu	315/400	129,5	1994
18		-	Vapaa	-	-	-
19		AMCMK 3x185+57	Kauppakatu 6	250/400	50,2	1970
20		MCMK 3x10+10	Ei käytössä	-/400	235,0	1970

Taulukko 31. Kemin Energian sähköasemien taustaverkon impedanssit ja oikosulkuvirrat

Syväkankaan sähköasema	Karihaaran sähköasema
Normaali minimitalanne $I_k' = 5,9 \text{ kA}$ $Z_k' = (3,0+j11,2)\Omega$	Normaali minimitalanne $I_k' = 7,2 \text{ kA}$ $Z_k' = (2,3+j9,1)\Omega$
Perustilanne $I_k' = 9,6 \text{ kA}$ $Z_k' = (1,6+j7,0)\Omega$	Perustilanne $I_k' = 13 \text{ kA}$ $Z_k' = (1,0+j5,2)\Omega$
Normaali maksimitilanne $I_k'' = 11,0 \text{ kA}$ $Z_k'' = (1,4+j6,1)\Omega$	Normaali maksimitilanne $I_k'' = 15,5 \text{ kA}$ $Z_k'' = (0,9+j4,3)\Omega$

Taulukko 32. Päämuuntajien suhteelliset oikosulkuresistanssi ja -impedanssi arvot

resistanssi/impedanssi	SPM1 [%]	SPM2 [%]	KAH_KPM 1.1 [%]
Minimioikosulkuresistanssi u_{rmin}	0,430	0,440	0,443
Keskioikosulkuresistanssi u_{rkesk}	0,440	0,460	0,448
Maksimioikosulkuresistanssi u_{rmax}	0,580	0,460	0,579
Minimioikosulkuimpedanssi u_{zmin}	10,500	10,850	9,840
Keskioikosulkuimpedanssi u_{zkesk}	9,800	10,430	10,030
Maksimioikosulkuimpedanssi u_{zmax}	9,700	9,280	10,720

Taulukko 33. Alennetuilla häviöillä toimivien jakelumuuntajien resistanssit ja reaktanssit (Verkostosuositus SA 2:08).

Teho	R_m		X_m		R_{m0}	X_{m0}
kVA	%	Ω	%	Ω	Ω	Ω
16	3,4	0,340	2,0	0,200	0,140	0,013
30	2,5	0,130	3,1	0,170	0,059	0,011
50	2,2	0,070	3,3	0,110	0,073	0,110
100	1,8	0,028	3,6	0,058	0,029	0,0580
200	1,4	0,011	4,3	0,034	0,012	0,0350
315	1,1	0,0057	4,9	0,025	0,0062	0,0250
500	1,0	0,0032	4,9	0,016	0,0036	0,0160
800	0,89	0,0018	5,3	0,011	0,0021	0,0110
1000	0,89	0,0014	5,9	0,0095	0,0018	0,0100
1250	0,78	0,0010	5,9	0,0076	0,0013	0,0081
1600	0,76	0,0008	6,0	0,0060	0,0010	0,0064
2000	0,73	0,0006	6,0	0,0048	0,0008	0,0052

Taulukko 34. Jakelumuuntajien teknisiä tietoja, normaalihäviöt (Sähkämiehen taskukirja 2006, 189).

Teho [kVA]	Muuntosuhde [V/V]	Kyt- kentä	P ₀ [W]	P _k [W]	Z _k [%]
315	20500±2x2,5%/410	Dyn11	520	3150	4,3
400	20500±2x2,5%/410	Dyn11	620	4100	4,4
500	20500±2x2,5%/410	Dyn11	705	4900	4,5
630	20500±2x2,5%/410	Dyn11	850	5600	4,5
800	20500±2x2,5%/410	Dyn11	1020	6800	4,7
1000	20500±2x2,5%/410	Dyn11	1240	8000	4,8
1250	20500±2x2,5%/410	Dyn11	1570	9100	5,3
1600	20500±2x2,5%/410	Dyn11	1880	11200	6,0
2000	20500±2x2,5%/410	Dyn11	2130	13600	6,0

Taulukko 35. Jakelumuuntajien hankintahintoja (ALV 0%) (Verkostosuositus KA 2:10).

Muuntaja teho	Määrä	Yksikköhinta
30 kVA	279 kpl	3 110 €
50 kVA	653 kpl	3 170 €
100 – 160 kVA	502 kpl	4 550 €
200 kVA	273 kpl	5 960 €
300 – 315 kVA	168 kpl	7 330 €
500 – 630 kVA	202 kpl	9 390 €
800 kVA	106 kpl	13 330 €
1000 kVA	50 kpl	15 150 €
1250 kVA tai suurempi	9 kpl	18 040 €

Taulukko 36. Työssä esiintyvien pienjännitekaapeliin resistanssi ja reaktanssi tietoja (Verkostusuositus SA02:08, 38 - 39).

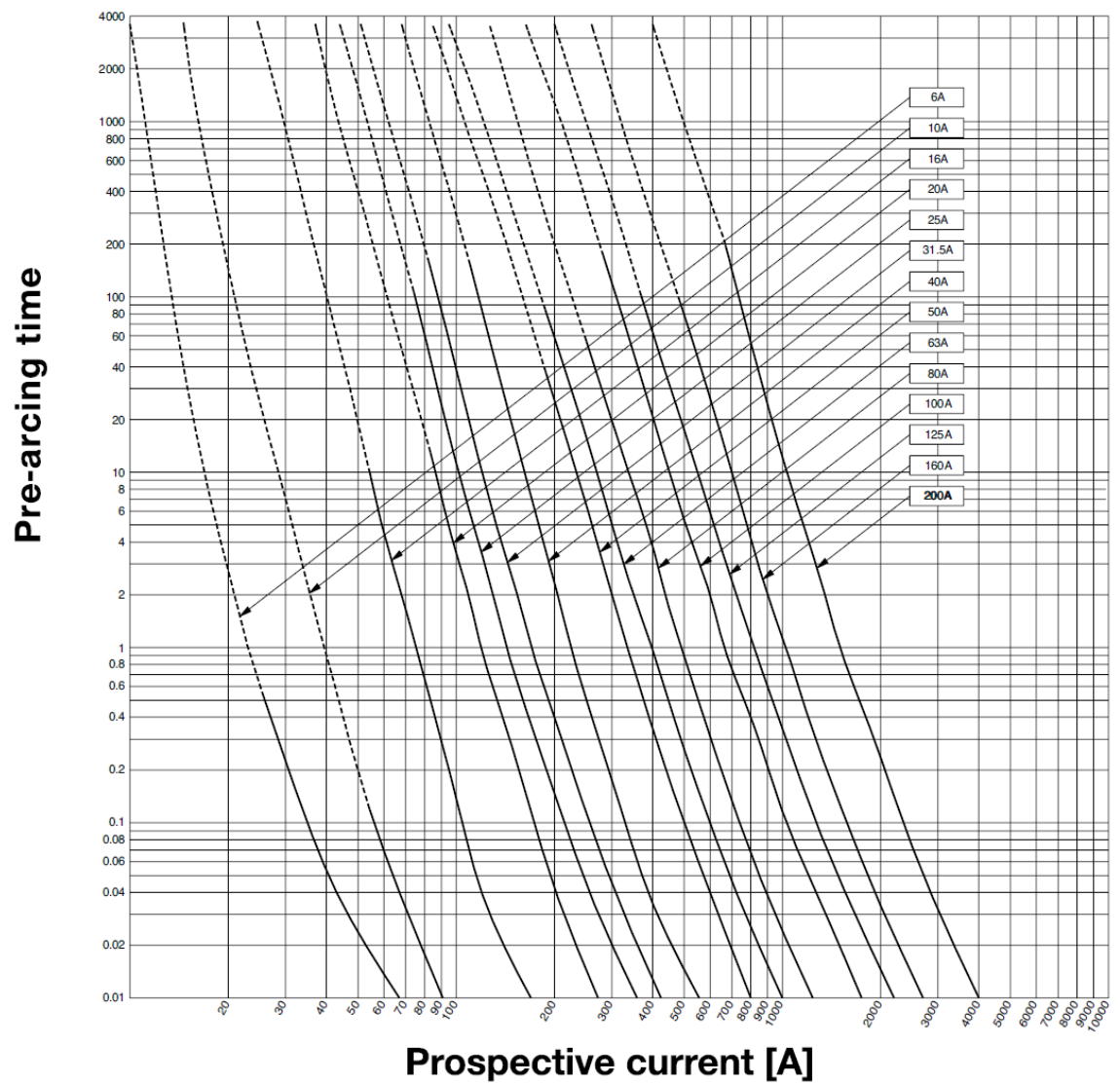
Johto	R_v (+40 °C) Ω/km	R_0 (+40 °C) Ω/km	X_v Ω/km	X_{v0} Ω/km	X_0 Ω/km
AMCMK 3×150+41	0,226	0,478	0,072	0,072	-
2× AMCMK 3×150+41	0,113	0,239	0,036	0,036	-
AMCMK 3×185+57	0,181	0,345	0,072	0,072	-
2× AMCMK 3×185+57	0,0905	0,1725	0,036	0,036	-
AMCMK 3×240+72	0,140	0,275	0,072	0,072	-
2× AMCMK 3×240+72	0,070	0,1375	0,036	0,036	-
APAKM 3×185+185	0,183	0,183	0,060	0,060	-
2× APAKM 3×185+185	0,0915	0,0915	0,030	0,030	-
AXMK 4×185	0,181	0,181	0,082	0,082	0,082
2× AXMK 4×185	0,0905	0,0905	0,041	0,041	0,041
AXMK 4×240	0,140	0,140	0,079	0,079	0,079
2× AXMK 4×240	0,070	0,070	0,0395	0,0395	0,0395
PLKVJ 3×120+70	0,169	0,292	0,085	0,085	0,085
2× PLKVJ 3×120+70	0,0845	0,146	0,0425	0,0425	0,0425

Taulukko 37. Jakelumuuntajan varokkeen valintataulukko (ABB 2015).

	Muuntajan teho [kVA]															
U_n [kV]	25	50	75	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600
3	16	25	25	40	40	50	50	80	100	125	160	160				
3,3	16	25	25	40	40	50	50	63	80	100	125	160				
4,15	10	16	25	25	40	40	50	50	63	80	100	125	160			
5	10	16	25	25	25	40	40	50	50	63	80	100	160	160		
5,5	6	16	16	25	25	25	40	50	50	36	80	100	125	160		
6	6	16	16	25	25	25	40	40	50	50	80	100	125	160	160	
6,6	6	16	16	25	25	25	40	40	50	50	63	80	100	125	160	
10	6	10	10	16	16	25	25	25	40	50	50	80	80	125	125	
11	6	6	10	16	16	25	25	25	25	40	50	50	63	80	100	125
12	6	6	10	16	16	16	25	25	25	40	40	50	63	80	100	125
13,8	6	6	10	10	16	16	25	25	25	25	40	50	50	63	80	100
15	6	6	10	10	16	16	16	25	25	25	40	40	50	63	80	100
17,5	6	6	6	10	10	16	16	16	25	25	25	40	50	50	63	80
20	6	6	6	10	10	16	16	16	25	25	25	40	40	50	63	63
22	6	6	6	6	10	10	16	16	16	25	25	25	40	50	50	63
24	6	6	6	6	10	10	16	16	16	25	25	25	40	40	50	63

Taulukko 38. Työssä kohdattavien kaapelityyppien suositellut gG tyyppin varokekoot (Verkostosuositus SA2:08, 18).

Kaapelityyppi	Ylikuormitus-suoja	Oikosulkusuoja		
	Liittymisjohdolle	Liittymisjohdolle		Runkojohdolle
	Kuluttajan pääsulake [I _N]	Jakokaapissa/MMO [I _N]	Runkojohdolla [I _N]	[I _N]
AMCMK 3x240	250	315	-	315
AMCMK 3x185	200	250	-	250
AMCMK 3x150	200	250	-	250
APAKM 4x185	250	315	-	315
AXMK 240 mm ²	315	400	-	400
AXMK 185 mm ²	250	315	-	315
AXMK 150 mm ²	250	315	-	315
PLKVJ 3x120	250	315	-	315



Kuvio 12. Keskiännitevarokkeen toimintakäyrät (ABB 2015).

Luvun 10 laskuesimerkki

Muuntajan M128 korvaavan jakelumuuntajan nimellisteho S_n saadaan yhtälöllä 20.

$$P_{\max} = 265 \text{ kW} \quad r = 0 \text{ \%/a} \quad t = 40 \text{ a} \quad k = 1,0 \quad \cos \varphi = 0,95$$

$$265 \text{ kW} \cdot \left(1 + \frac{0}{100}\right)^{40} < 1,0 \cdot S_n \cdot 0,95 \rightarrow S_n > 278,947 \text{ kVA}$$

M128 korvaavan muuntajan nimellistehon tulee olla suurempi kuin 279 kVA. M127 korvaavan muuntajan ja muuntajien M128 ja M127 korvaava muuntajan vähimmäisnimellistehot on esitetty taulukossa 12.

Valittujen muuntaja tehojen nimelliskuormitus- ja tyhjäkäyntihäviöt on esitetty taulukossa 34. Jännitteen vaikutus 315 kVA:n muuntajan tyhjäkäyntihäviöiden suuruuteen, saadaan laskettua kaavalla 10. Liitteen 4 taulukon 34 mukaan, muuntajan nimellisjännite on 410 V.

$$P_0 = \left(\frac{410 \text{ V}}{410 \text{ V}}\right)^2 \cdot 520 \text{ W} = 520 \text{ W}$$

Kuormituksen vaikutus saadaan selville kaavalla 9.

$$P_k = \left(\frac{279 \text{ kVA}}{315 \text{ kVA}}\right)^2 \cdot 3150 \text{ W} = 2417 \text{ W}$$

Kaikki eri tehoisten muuntajien mukautetut tyhjäkäynti- ja kuormitushäviöt on esitetty taulukossa 13.

M128 ja M127 korvaavan muuntajan häviöiden huipunkäyttöaika likiarvo saadaan selville kaavoilla 14 ja 15.

$$t_k = \frac{2389 \text{ MWh}}{0,653 \text{ MW}} = 3658,5 \text{ h} \approx 3659 \text{ h}$$

$$t_h \approx 0,17 \cdot 3659 \text{ h} + 0,83 \cdot \frac{3659 \text{ h}^2}{8760 \text{ h}} = 1890,6 \text{ h} \approx 1891 \text{ h}$$

Kuormitushäviöiden diskonttauskerroin κ lasketaan yhtälöillä 4 ja 5.

$$\psi = \frac{\left(1 + \frac{0}{100}\right)^2}{1 + \frac{2,5}{100}} = 0,9756$$

$$\kappa = 0,9756 \cdot \frac{0,9756^{40} - 1}{0,9756 - 1} = 25,10$$

Tyhjäkäyntihäviöiden diskonttauskerroin κ_Y saadaan kaavoilla 6 ja 7.

$$\psi_Y = \frac{1}{1 + \frac{2,5}{100}} = 0,9756$$

$$\kappa_Y = 0,9756 \cdot \frac{0,9756^{40} - 1}{0,9756 - 1} = 25,10$$

Muuntajan M128 korvaavan 315 kVA:n muuntajan pitoajan häviökustannukset saadaan laskettua nykyarvoon kaavalla 8.

$$K_{h,m} = 25,10 \cdot 2,417 \text{ kW} \cdot 0,02961 \text{ €/kWh} \cdot 2961 \text{ h} + 25,10 \cdot 0,52 \text{ kW} \\ \cdot 0,02961 \text{ €/kWh} \cdot 8760 \text{ h} = 8\,705 \text{ €}$$

Luvun 11 laskuesimerkki

Esimerkissä lasketaan oikosulkuvirrat Pirtin keskijännitekojeiston kiskostossa kun syöttö tulee Syväkankaan sähköasemalta, päämuuntajan ollessa SPM1.

Redusoidaan Syväkankaan sähköaseman taustaverkon ”Perustilanne” (taulukko 31) impedanssi Z_{sv} 21 kV:n tasolle kaavalla 27. Kaikki taustaverkon redusoinnista saadut tulokset on kirjattu taulukkoon 16.

$$Z'_{sv} = \left(\frac{21 \text{ kV}}{110 \text{ kV}} \right)^2 \cdot (1,6 + j7,0) \Omega = (0,0583 + j0,2551) \Omega$$

Lasketaan päämuuntajan SPM1 resistanssi (R_m) ja impedanssi (Z_m) 21 kV:n tasolle käyttäen keskioikosulkuresistanssin ja – impedanssin arvoja kaavojen 16 ja 18 avulla. Lisäksi lasketaan reaktanssi kaavalla 19, muuntajan suhteelliset arvot saadaan taulukosta 32, muuntajien lasketut impedanssit on kirjattu taulukkoon 17.

$$R_m = \frac{0,440}{100} \cdot \frac{21 \text{ kV}^2}{25 \text{ MVA}} = 0,0776 \Omega$$

$$Z_m = \frac{9,800}{100} \cdot \frac{21 \text{ kV}^2}{25 \text{ MVA}} = 1,7287 \Omega$$

$$X_m = \sqrt{1,6474 \Omega^2 - 0,0740 \Omega^2} = 1,7270 \Omega$$

$$Z_m = (0,0776 + j1,7270) \Omega$$

Uusittavan kaapelin AHXAMK-W 3x150 valmistajalta saadut tiedot ovat:

$$- R_{65^\circ\text{C}} = 0,27 \Omega/\text{km} \quad L = 0,37 \text{ mH}/\text{km}$$

Resistanssi saadaan muutettua +40 °C:n arvoihin taulukon 4 arvojen avulla:

$$R_{40^\circ\text{C}} = \frac{1,0806}{1,182} \cdot 0,27 \Omega/\text{km} = 0,247 \Omega/\text{km}$$

Kaapelin reaktanssi saadaan selville käyttämällä kaavaa 23.

$$X_L = 2\pi \cdot 50 \text{ Hz} \cdot 0,37 \text{ mH}/\text{km} = 0,116 \Omega/\text{km}$$

Syväkankaan sähköaseman ja Pirtin muuntoaseman kaapeliyhteyden impedanssi lasketaan kaavan 22 avulla. Lähtöarvot eri kaapeleille saadaan taulukosta 18, kaapelireittien kokonaisimpedanssit on esitetty taulukossa 19.

$$Z_{j1} = (0,277 + j0,129) \Omega / km * 0,8766 km = (0,2428 + j0,1131) \Omega$$

$$Z_{j2} = (0,283 + j0,115) \Omega / km * 1,3690 km = (0,3874 + j0,1574) \Omega$$

$$Z_{j3} = (0,247 + j0,116) \Omega / km * 0,2682 km = (0,0663 + j0,0311) \Omega$$

$$Z_{jk} = Z_{j1} + Z_{j2} + Z_{j3} = (0,6965 + j0,3016) \Omega$$

Oikosulkupiirin kokonaisimpedanssi Z_k saadaan summaamalla lasketut osaimpedanssit. Eri kytkentätilanteiden kokonaisimpedanssit on esitetty taulukossa 20.

$$Z_k = Z'_{sv} + Z_m + Z_{jk} = (0,8324 + j2,2837) \Omega$$

Suurin kolmivaiheinen oikosulkuvirta lasketaan kaavaa 28 käyttäen. Jänniteker-toimeksi valitaan taulukon X mukaan 1,1 kun lasketaan suurinta oikosulkuvirtaa. Eri syöttötilanteiden oikosulkuvirrat on esitetty taulukossa 21.

$$I_{k3max} = \frac{1,1 \cdot 21 kV}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{0,8324 \Omega^2 + 2,2837 \Omega^2}} = 5 487 A$$

Kaksivaiheinen oikosulkuvirta, kun päämuuntajana on SPM1, saadaan kaavan 29 avulla. Tulokset eri syöttötilanteiden kaksivaiheisista oikosulkuvirroista on esitetty taulukossa 21.

$$I_{k2} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot 5487 A = 4 752 A$$

Pirtin syötön tullessa muuntajalta SPM1, saadaan sysäysoikosulkuvirta i_p laskettua kaavalla 31 ja sen sysäyskertoisena κ käytetään 1,8. Muiden syöttötilanteiden sysäysoikosulkuvirrat ovat taulukossa 21.

$$i_p = 1,8 \cdot \sqrt{2} \cdot 5487 A = 13 968 A$$

Ekvivalenttinen oikosulkuvirta 1 ja 3 sekunnin ajoille saadaan laskettua kaavalla 33 ja oikosulkuna käytetään suurinta laskettua oikosulkuvirtaa, tulokset ovat taulukossa 22.

$$I_{t1} = 5487 A \sqrt{\frac{0,1s}{1s}} = 1735 A$$

Luvun 12 laskuesimerkki

Esimerkissä lasketaan luvun 12 pienjännitekeskuksessa esiintyviä oikosulkuvirtoja, taustaverkkona toimii Syväkankaan syöttöreitti ja päämuuntajan SPM1.

Redusoidaan syöttävän verkon impedanssi 410 V tasolle yhtälöllä 27, impedanssina käytetään taulukon 20 peruskytkentätilanteen kokonaisimpedanssia. Eri kytkentätilanteiden redusoidut impedanssit ovat esillä taulukossa 23.

$$Z'_{sv} = \left(\frac{0,41 \text{ kV}}{20,5 \text{ kV}} \right)^2 \cdot (0,8324 + j2,2837)\Omega = (0,00033 + j0,00091)\Omega$$

Pienjännitekeskuksen syöttökaapeleiksi valittujen AXMK 1×300 yksijohdinkaapelin valmistajan tiedot ovat luvun 12.2.1 taulukossa 24, kaapelin resistanssi saadaan +40 °C:een arvoihin taulukon 4 avulla seuraavasti:

$$R_{40^\circ\text{C}} = \frac{1,0806}{1,285} \cdot 0,13 \Omega/\text{km} = 0,109 \Omega/\text{km}$$

Kaapelin induktiivinen reaktanssi saadaan kaavalla 23.

$$X_L = 2\pi fL = 2\pi \cdot 50 \text{ Hz} \cdot 0,45 \text{ mH}/\text{km} = 0,141 \Omega/\text{km}$$

Syöttökaapeleina käytetään jokaista vaihetta kohden rinnan kolmea kaapelia, jolloin syöttökaapeleiden impedanssi pienenee. Syöttökaapelin impedanssi voidaan laskea seuraavasti:

$$Z_j = \frac{(0,109 + j0,141) \Omega/\text{km}}{3} \cdot 0,015 \text{ km} = (0,000545 + j0,000705)\Omega$$

Oikosulkupiirin kokonaisimpedanssi saadaan summaamalla osaimpedanssit yhteen. Lasketut kokonaisimpedanssit on esitetty luvun 12.2.1 taulukossa 25.

$$Z_k = Z_{sv} + Z_m + Z_j = (0,00228 + j0,01112)\Omega$$

Pienjännitekeskuksen kiskostossa syntyvä suurin kolmivaiheinen oikosulkuvirta lasketaan yhtälöllä 28, oikosukupiirin kokonaisimpedanssi saadaan taulukosta X. Jännitekerroin, 410 V jännitteellä, on taulukon 5 mukaan 1,0 kun lasketaan maksimioikosulkuvirtaa, lasketut oikosulkuvirrat ovat esillä taulukossa 26.

$$I_{k3max} = \frac{1,0 \cdot 410 \text{ V}}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{0,00228\Omega^2 + 0,01112\Omega^2}} = 20\,853 \text{ A}$$

Sysäysoikosulkuvirran laskemiseen käytetään kaavaa 31 ja sysäyskertoimena lukua 1,44. Laskennasta saadut tulokset ovat taulukossa 26.

$$i_p = 1,44 \cdot \sqrt{2} \cdot 20853 \text{ A} = 42\,467 \text{ A}$$

Ekvivalenttinen oikosulkuvirta 1 ja 3 sekunnin ajoille saadaan laskettua kaavalla 33, tulokset ovat taulukossa 27

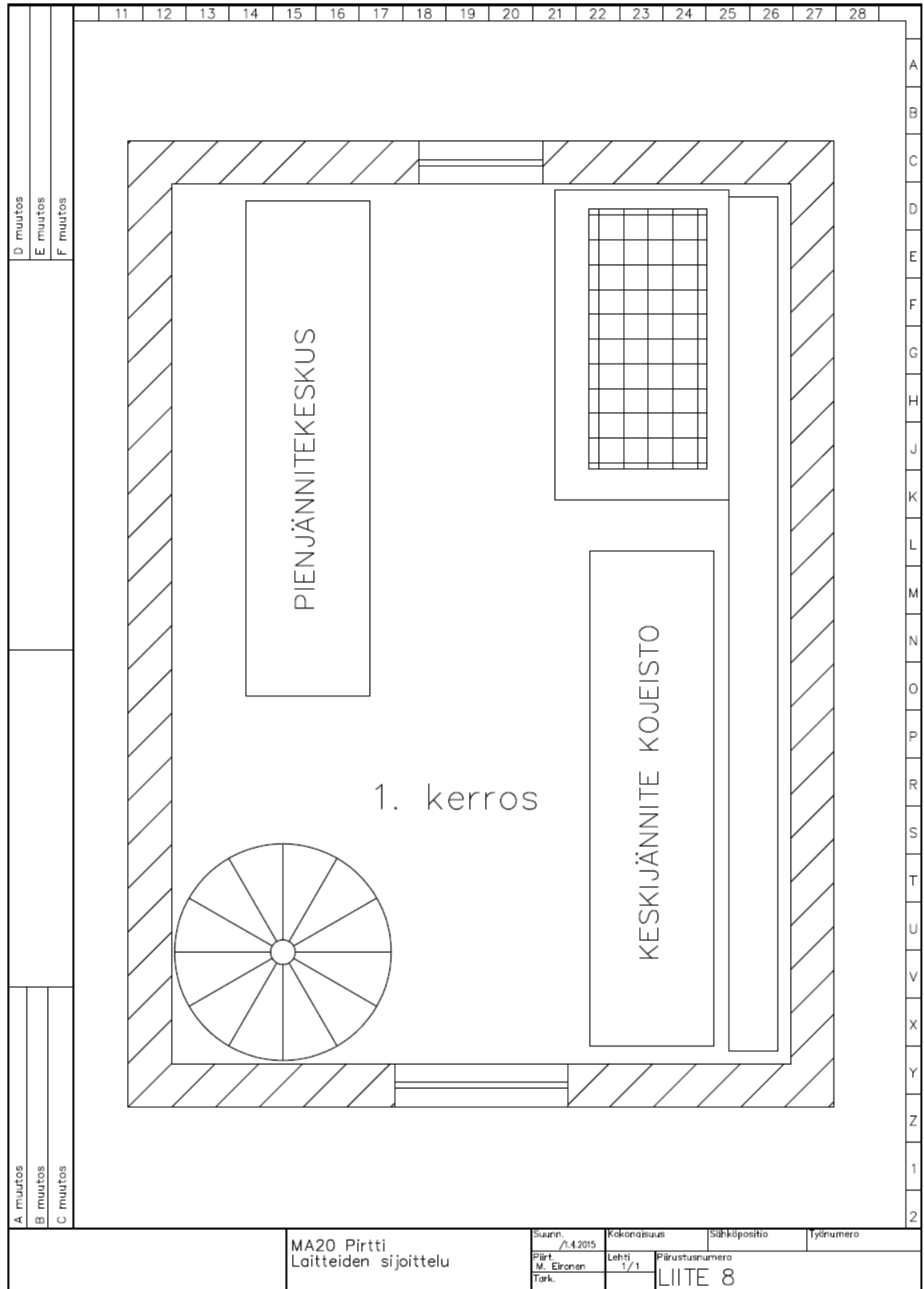
$$I_{t1} = 20853 \text{ A} \sqrt{\frac{0,3\text{s}}{1\text{s}}} = 11\,422 \text{ A}$$

Luvussa 12.3 laskettava pienin yksivaiheinen oikosulkuvirta saadaan laskettua kaavalla 30, esimerkissä lasketaan rinnanlähdön 1 ja 2 pienin yksivaiheinen oikosulkuvirta, muiden lähtöjen oikosulkuvirrat on esitetty taulukossa 29. Kaape-
lien resistanssi ja reaktanssi arvot ovat esillä taulukossa 36.

I_{k1min}

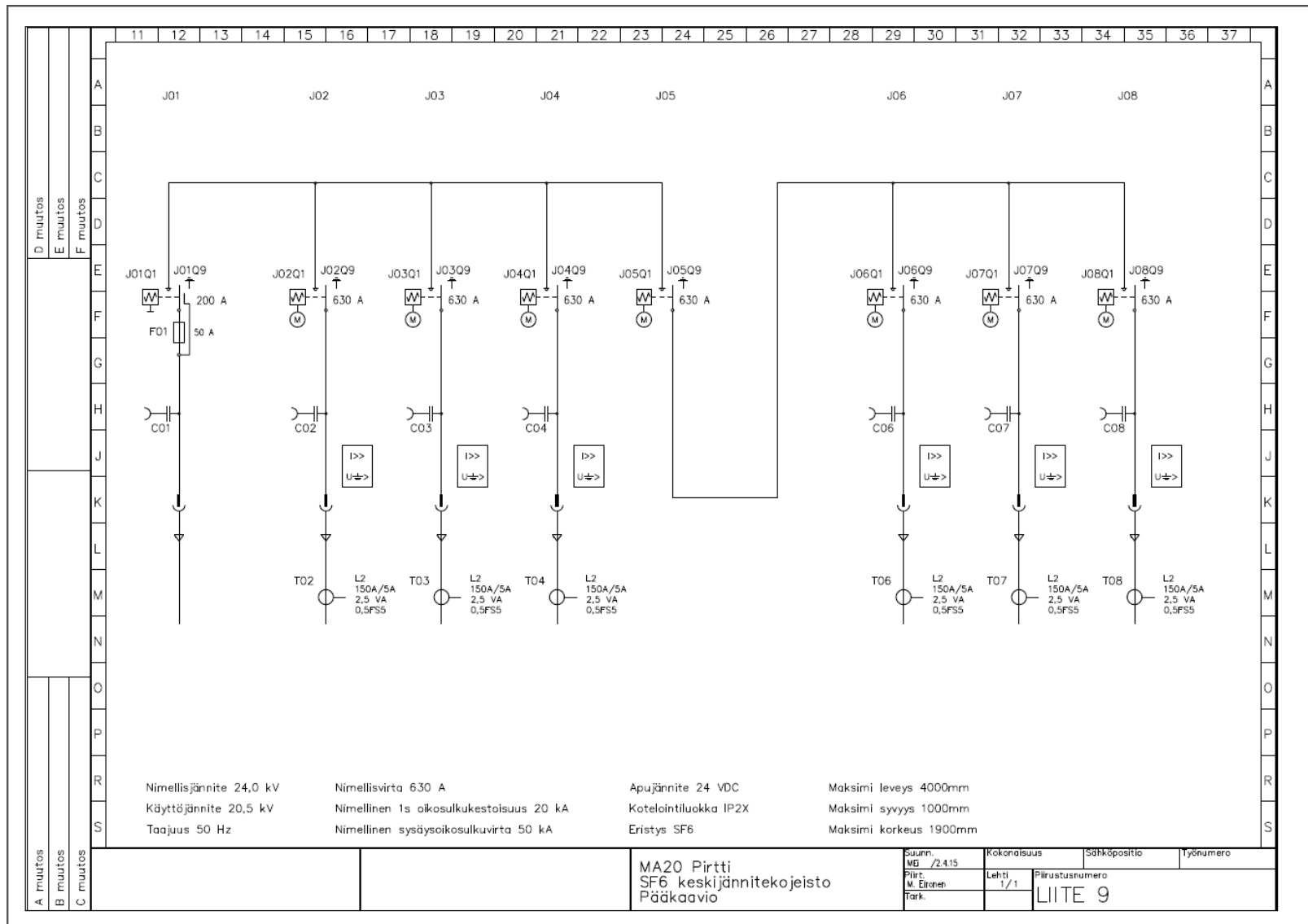
$$= \frac{3 \cdot 0,95 \cdot \frac{410 \text{ V}}{\sqrt{3}}}{\sqrt{(2 \cdot 0,0014 + 0,0018 + 3 \cdot 0,1085(0,091 + 0,173))^2 + (2 \cdot 0,0095 + 0,01 + 0,1085(2 \cdot 0,036 + 0,036 + 3 \cdot 0))^2}} \\ = 6\,796 \text{ A}$$

Pirtin layout-kuva



Keskijännitekojeiston pääkaavio

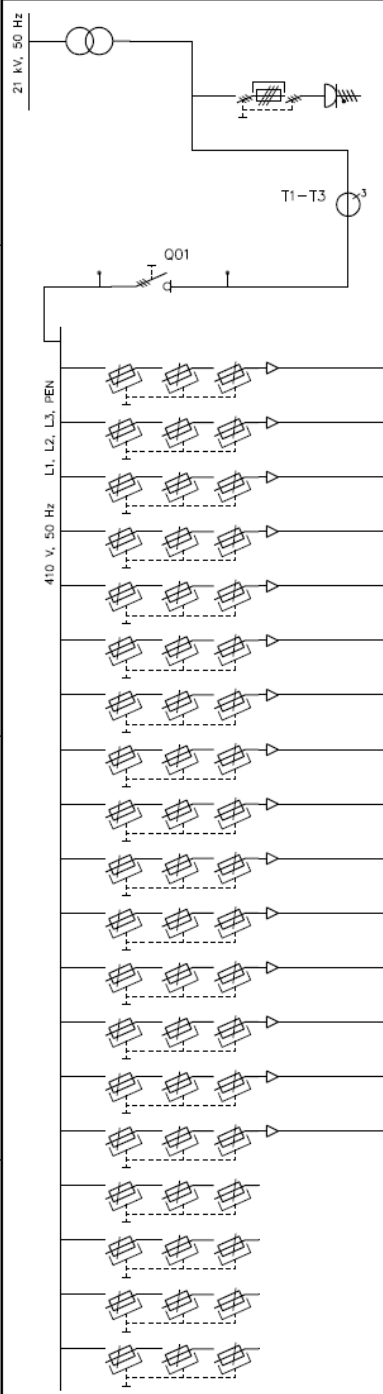
Liite 9



Pienjännitekeskuksen keskuskaavio

A SÄHKÖTEKNILLISET TIEDOT																	
KESKUS																	
<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="width: 45%;"> <p>1. Nimellisjännite U_N <u>410</u> V</p> <p>2. Jännitehäviö keskukseseen U_H %</p> <p>3. Taajuus f <u>50</u> Hz</p> <p>4. Nimellisvirta I_N <u>1600</u> A</p> <p>5. Oikosulkukestoisuus terminen I_{ts} <u>16</u> kA dynaaminen I_s <u>45</u> kA E 3:n mukaan <input type="checkbox"/></p> <p>6. Keskuksen häviöteho P_H kW</p> <p>7. Kiskot tai johtimet AC L1 <input checked="" type="checkbox"/> L2 <input checked="" type="checkbox"/> L3 <input checked="" type="checkbox"/> N <input type="checkbox"/> PE <input type="checkbox"/> PEN <input checked="" type="checkbox"/> L+ <input type="checkbox"/> M <input type="checkbox"/> L- <input type="checkbox"/> PE <input type="checkbox"/></p> <p>8. Kiskot tai johtimet DC L+ <input type="checkbox"/> M <input type="checkbox"/> L- <input type="checkbox"/> PE <input type="checkbox"/></p> <p>9. Ohjausjännite U V f Hz I A S kVA</p> <p>10. Apujännite 1 _____</p> <p>11. Apujännite 2 _____</p> </div> <div style="width: 45%;"> <p>9. Kansien saranointi kytkentäkentät <input type="checkbox"/> kojekentät <input type="checkbox"/> kiskokotelokentät <input checked="" type="checkbox"/> kaikki <input checked="" type="checkbox"/></p> <p>10. Pintakäsittely valmistajan normaali <input checked="" type="checkbox"/> erillisen ohjeen mukaan <input type="checkbox"/></p> <p>11. Asennustila leveys <u>4000</u> m korkeus, normaali <input type="checkbox"/> muu <u>2000</u> m syvyys, normaali <input type="checkbox"/> muu <u>1000</u> m</p> <p>12. Ympäristön lämpötila normaali 20...25 °C <input type="checkbox"/> min <u>-5</u> °C max <u>+25</u> °C</p> <p>13. Kennokeskuksen kaapelikuitut 1 kpl/kenttä <input checked="" type="checkbox"/> 1 kpl/2 kenttää <input checked="" type="checkbox"/> valmistajan normaali <input checked="" type="checkbox"/> leveys _____ m</p> <p>14. Lattialla seisovan keskuksen alhaalla olevat läpiviennit <input checked="" type="checkbox"/> avoin <input type="checkbox"/> palonkestävä <input type="checkbox"/></p> </div> </div>																	
<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="width: 45%;"> <p>12. Jakelujärjestelmä käyttömaadoitettu 4j. TN-C-S <input checked="" type="checkbox"/> käyttömaadoitettu 5j. TN-S <input type="checkbox"/> käyttömaadoittamaton IT <input type="checkbox"/></p> <p>13. Teho asennettu S kVA tasattu S kVA</p> <p>14. Tehokerroin $\cos \varphi$ _____</p> <p>15. Lämmitystehon osuus _____ kW</p> </div> <div style="width: 45%;"> <p>4. Merkkilamput hehkulamput <input type="checkbox"/> hohtolamput <input type="checkbox"/> LED-lamput <input checked="" type="checkbox"/></p> <p>5. Laskutusmittareiden toimittaja sähkölaitos <input checked="" type="checkbox"/> keskusvalmistaja <input type="checkbox"/></p> <p>6. Laskutusmittamuuntajien toimittaja sähkölaitos <input checked="" type="checkbox"/> keskusvalmistaja <input type="checkbox"/></p> </div> </div>																	
E KAAPELOINTITIEDOT																	
<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="width: 45%;"> <p>12. Jakelujärjestelmä käyttömaadoitettu 4j. TN-C-S <input checked="" type="checkbox"/> käyttömaadoitettu 5j. TN-S <input type="checkbox"/> käyttömaadoittamaton IT <input type="checkbox"/></p> <p>13. Teho asennettu S kVA tasattu S kVA</p> <p>14. Tehokerroin $\cos \varphi$ _____</p> <p>15. Lämmitystehon osuus _____ kW</p> </div> <div style="width: 45%;"> <p>7. Syöttö kaapeli <input checked="" type="checkbox"/> kiskasto <input type="checkbox"/> laji _____ AXMK _____</p> <p>poikkipinta <u>3x(3x1x300)+2x300</u></p> <p>pituus jännitehäviön laskemiseksi <u>15</u> m</p> </div> </div>																	
C TUNNUSMERKINNÄT																	
<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="width: 45%;"> <p>1. Keskuslaji kenno <input checked="" type="checkbox"/> kotelo <input type="checkbox"/> kehikko <input type="checkbox"/></p> <p>2. Kotelointiluokka min IP <u>2X</u></p> <p>3. Keskuksen rakenne 1-puoleinen <input checked="" type="checkbox"/> 2-puoleinen <input type="checkbox"/> 2 kpl 1-puoleisia selät vastakkain <input type="checkbox"/></p> <p>4. Asennustapa pinnalle <input checked="" type="checkbox"/> uppoon <input type="checkbox"/> putkituskotelolla <input type="checkbox"/></p> <p>5. Kiinnitys seinään <input type="checkbox"/> lattiaan <input checked="" type="checkbox"/></p> <p>6. Asennus- ja tukirakenteet sidediskot <input type="checkbox"/> jalustat <input type="checkbox"/></p> <p>7. Keskuksen yhtenäinen ovilaite lukolla <input checked="" type="checkbox"/> salvalla <input type="checkbox"/> kolmioavain <input type="checkbox"/> Abloyavain <input type="checkbox"/></p> <p>8. Keskuksen ovien ja kansien avautumiskulma min 90 astetta <input checked="" type="checkbox"/> min 180 astetta <input type="checkbox"/></p> </div> <div style="width: 45%;"> <p>1. Tunnusmerkinnät valmistajan normaali <input type="checkbox"/> erillinen ohje (sähköselitys) <input type="checkbox"/></p> <p>2. Keskuksen tunnuskilpi valmistajan normaali <input type="checkbox"/> erillinen ohje (sähköselitys) <input type="checkbox"/></p> <p>3. Kansikojeloiden tunnuskilvet valmistajan normaali <input type="checkbox"/> erillinen ohje (sähköselitys) <input type="checkbox"/></p> <p>4. Kennokeskuksen lähtöjen merkintä juokseva numerointi -- vasemmalta oikealle <input type="checkbox"/> -- oikealta vasemmalle <input type="checkbox"/> erillinen ohje (sähköselitys) <input type="checkbox"/></p> <p>5. Kennokeskuksen lähtöjen merkintä juokseva numerointi kentän n-ro + juokseva numero <input type="checkbox"/> erillinen ohje (sähköselitys) <input type="checkbox"/></p> <p>6. Sisäisten kojeiden merkintä valmistajan normaali <input type="checkbox"/> erillinen ohje (sähköselitys) <input type="checkbox"/></p> <p>7. Sisäisten johtimien merkinnät ei suoriteta <input type="checkbox"/> erillinen ohje (sähköselitys) <input type="checkbox"/></p> <p>8. Erillinen kilpi "KESKUKSESSA VIERAS OHJAUSJÄNNITE" "PÄÄKYTKIN E KATKAISE JÄNNITETTÄ KAUKOLÄMMÖN MITTAUKSELTA" <input type="checkbox"/></p> </div> </div>																	
D KALUSTETIEDOT																	
<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="width: 45%;"> <p>1. Keskuslaji kenno <input checked="" type="checkbox"/> kotelo <input type="checkbox"/> kehikko <input type="checkbox"/></p> <p>2. Kotelointiluokka min IP <u>2X</u></p> <p>3. Keskuksen rakenne 1-puoleinen <input checked="" type="checkbox"/> 2-puoleinen <input type="checkbox"/> 2 kpl 1-puoleisia selät vastakkain <input type="checkbox"/></p> <p>4. Asennustapa pinnalle <input checked="" type="checkbox"/> uppoon <input type="checkbox"/> putkituskotelolla <input type="checkbox"/></p> <p>5. Kiinnitys seinään <input type="checkbox"/> lattiaan <input checked="" type="checkbox"/></p> <p>6. Asennus- ja tukirakenteet sidediskot <input type="checkbox"/> jalustat <input type="checkbox"/></p> <p>7. Keskuksen yhtenäinen ovilaite lukolla <input checked="" type="checkbox"/> salvalla <input type="checkbox"/> kolmioavain <input type="checkbox"/> Abloyavain <input type="checkbox"/></p> <p>8. Keskuksen ovien ja kansien avautumiskulma min 90 astetta <input checked="" type="checkbox"/> min 180 astetta <input type="checkbox"/></p> </div> <div style="width: 45%;"> <p>1. Keskuslaji kenno <input checked="" type="checkbox"/> kotelo <input type="checkbox"/> kehikko <input type="checkbox"/></p> <p>2. Kotelointiluokka min IP <u>2X</u></p> <p>3. Keskuksen rakenne 1-puoleinen <input checked="" type="checkbox"/> 2-puoleinen <input type="checkbox"/> 2 kpl 1-puoleisia selät vastakkain <input type="checkbox"/></p> <p>4. Asennustapa pinnalle <input checked="" type="checkbox"/> uppoon <input type="checkbox"/> putkituskotelolla <input type="checkbox"/></p> <p>5. Kiinnitys seinään <input type="checkbox"/> lattiaan <input checked="" type="checkbox"/></p> <p>6. Asennus- ja tukirakenteet sidediskot <input type="checkbox"/> jalustat <input type="checkbox"/></p> <p>7. Keskuksen yhtenäinen ovilaite lukolla <input checked="" type="checkbox"/> salvalla <input type="checkbox"/> kolmioavain <input type="checkbox"/> Abloyavain <input type="checkbox"/></p> <p>8. Keskuksen ovien ja kansien avautumiskulma min 90 astetta <input checked="" type="checkbox"/> min 180 astetta <input type="checkbox"/></p> </div> </div>																	
<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="width: 45%;"> <p>1. Keskuslaji kenno <input checked="" type="checkbox"/> kotelo <input type="checkbox"/> kehikko <input type="checkbox"/></p> <p>2. Kotelointiluokka min IP <u>2X</u></p> <p>3. Keskuksen rakenne 1-puoleinen <input checked="" type="checkbox"/> 2-puoleinen <input type="checkbox"/> 2 kpl 1-puoleisia selät vastakkain <input type="checkbox"/></p> <p>4. Asennustapa pinnalle <input checked="" type="checkbox"/> uppoon <input type="checkbox"/> putkituskotelolla <input type="checkbox"/></p> <p>5. Kiinnitys seinään <input type="checkbox"/> lattiaan <input checked="" type="checkbox"/></p> <p>6. Asennus- ja tukirakenteet sidediskot <input type="checkbox"/> jalustat <input type="checkbox"/></p> <p>7. Keskuksen yhtenäinen ovilaite lukolla <input checked="" type="checkbox"/> salvalla <input type="checkbox"/> kolmioavain <input type="checkbox"/> Abloyavain <input type="checkbox"/></p> <p>8. Keskuksen ovien ja kansien avautumiskulma min 90 astetta <input checked="" type="checkbox"/> min 180 astetta <input type="checkbox"/></p> </div> <div style="width: 45%;"> <p>1. Keskuslaji kenno <input checked="" type="checkbox"/> kotelo <input type="checkbox"/> kehikko <input type="checkbox"/></p> <p>2</p></div></div>																	

Liite 10 2(3)

						11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28																	
						KESKUS							RYHMÄ	OSOITE				A/A	JOHDOTUS																					
D muutos E muutos F muutos														Syöttö				AXMK 3x(3x1x300)+2x300								A														
														Generaattori tahdistus				Koko 00								B														
														Virtamuuntajat 2,5 VA				1500/5								C														
														Pääkytkin				In=1600								D														
														R01 Kauppakatu 7				250/400				AMCMK 3x185+57				E														
														R02 Kauppakatu 7				250/400				AMCMK 2x185+57				F														
														R03 Valtakatu 11 - 13				315/400				AMCMK 3x240+72				G														
														R04 Valtakatu 11 - 13				315/400				AMCMK 3x240+72				H														
														R05 Kauppakatu 5				250/400				AMCMK 3x150+41				J														
														R06 Kauppakatu 5				250/400				AMCMK 3x150+41				K														
														R07 JK59 Valtakatu				315/400				APAKM 3x185+185				L														
														R08 JK59 Valtakatu				315/400				APAKM 3x185+185				M														
														R09 JK20 Valtakatu				315/400				AXMK 4x185				N														
														R10 JK20 Kauppakatu				315/400				AXMK 4x185				O														
														R11 JK21 Linja-autoasema				315/400				AXMK 4x185				P														
														R12 JK12 Kauppakatu				400/400				AXMK 4x240				R														
														R13 JK12 Kauppakatu				400/400				AXMK 4x240				S														
														R14 Kauppakatu 6				250/400				AMCMK 3x185+57				T														
														R15 Katuvalaistus kaappi				250/400				AXMK 4x185				U														
														R16 Vapaa				/400								V														
														R17 Vapaa				/400								X														
														R18 Vapaa				/160								Y														
														R19 Vapaa				/160								Z														
																										1														
A muutos B muutos C muutos																										2														
						M20 Pirtti Pienjännitekeskus Keskuskaavio						Suunn. MEI /24.2015		Kokonaisuus		Sähköpositio		Työnumero																						
												Piirt. M. Eironen		Lehti 2/3		Piiustusnumero																								
												Tark.								LIITE 10																				

M20 Pirtti
Pienjännitekeskus
Keskuskaavio